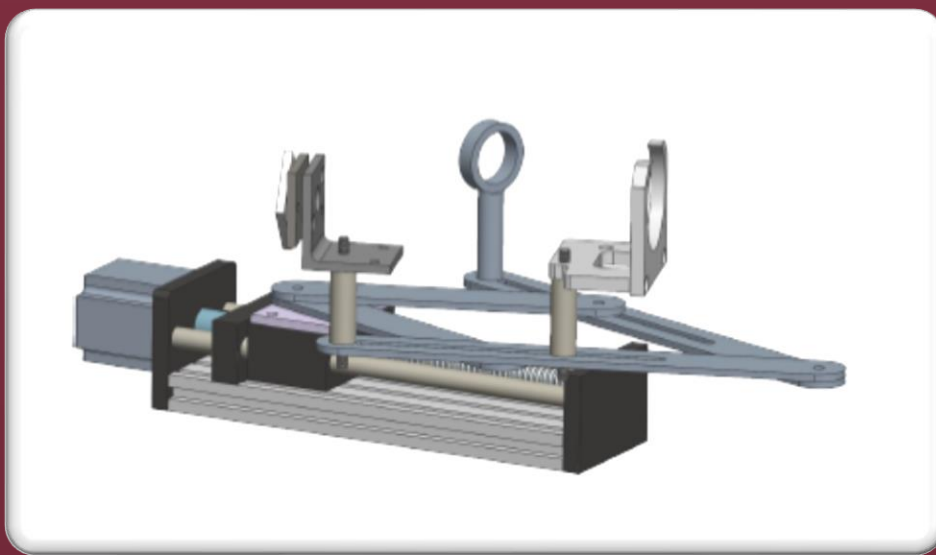




ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ



Κινηματικό σύστημα αρμών ίσων γωνιών
για οπτικές μετρήσεις υλικών με laser.

Επιβλέπων Καθηγητής: κ. Γεωργίου Ευστράτιος
Σπουδάστρια: Βασιλοπούλου Ιωάννα-Μαρία

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή της μεταπτυχιακής μου εργασίας κ. Γεωργίου Στρατή, ο οποίος μου ανέθεσε την εκπόνηση μιας μεταπτυχιακής στην οποία αντλούσα μεγάλο ενδιαφέρον. Επίσης ευχαριστώ όλους του καθηγητές μου που με τον κόπο τους επιδίωξαν και κατάφεραν να μοιραστούν τις γνώσεις τους μαζί μου κατά την διάρκεια της φοίτησης μου στο τμήμα μέχρι τώρα. Καθώς και τον υπεύθυνο του τμήματος του μεταπτυχιακού «Προηγμένα Συστήματα Παραγωγής, Αυτοματισμού και Ρομποτικής» κ. Σφακιωτάκη που μαζί με τους συναδέλφους του διατηρούν σε υψηλό επίπεδο το τμήμα και το εξελίσσουν καθημερινός.

Εισαγωγή / Περίληψη

Στην παρακάτω μεταπτυχιακή εργασία θα παρουσιάσουμε μια αυτοματοποιημένη κινηματική διάταξη ενός συστήματος τεσσάρων αρμών, οι οποίοι κατά την κίνηση τους, θα είναι ικανοί να διατηρήσουν με μεγάλη ακρίβεια ίσες γωνίες ως προς την σταθερή τράπεζα συγκράτησης δείγματος υλικού. Σκοπός της διάταξης θα είναι η μέτρηση χαρακτηριστικών οπτικών του ιδιοτήτων (π.χ. πολωμένης ανακλαστικότητας και δείκτη διάθλασης).

Η διάταξη που κατασκευάστηκε με σκοπό την αναγνώριση δείγματος διαφόρων υλικών και η σχεδίαση της βασίζεται στον Νόμο του Brewster. Η βασική ιδέα προκύπτει από την γωνία πρόσπτωσης Brewster, γνωστή και ως γωνία ολικής πόλωσης, δηλαδή τη γωνία πρόσπτωσης φωτός για την οποία η ανακλώμενη ακτίνα είναι κάθετη με την διαθλωμένη ακτίνα. Όταν μια τυχαία ακτίνα που είναι μη πολωμένη, πέσει στην επιφάνεια με την γωνία, έχει την ιδιότητα να ανακλάται ολοκληρωτικά πολωμένη.

Όταν το φως προσπίπτει σε μια διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών, με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται από την επιφάνεια σε μια συγκεκριμένη γωνία ανάκλασης και ένα μέρος της ακτινοβολία διαθλάται σε μια συγκεκριμένη γωνία διάθλασης. Σε μια ορισμένη γωνία πρόσπτωσης ένα μέρος του φωτός σε συγκεκριμένο επίπεδο πόλωσης δεν μπορεί να ανακλαστεί. Αυτή η γωνία πρόσπτωσης ονομάζεται γωνία πρόσπτωσης Brewster.

Το κάθε υλικό έχει έναν δείκτη διάθλασης, ο οποίος είναι και μοναδικός. Έτσι η λειτουργία αυτή βρίσκουμε την γωνία πρόσπτωσης Brewster, με την οποία θα επαληθεύεται ο δείκτης διάθλασης των δειγμάτων που θα εξετάζουμε κάθε φορά, για να εντοπίζουμε από τι υλικό προέρχεται η κατασκευή τους.

Στην παραπάνω θεωρία βασίζεται η λειτουργία της διάταξής μας, η οποία και υλοποιείται με την ταυτόχρονη ισογωνιακή κίνηση των αρμών που θα πραγματοποιείται με την χρήση ενός βηματικού κινητήρα με ενσωματωμένο μειωτήρα στροφών. Ο βηματικός κινητήρας με την βοήθεια του Arduino, θα περιστρέφει τον κοχλία και κατά συνέπεια θα αλλάξει τις μοίρες των αρμών, επιτυγχάνοντας έτσι διαφορετική γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας λείζερ σε κάθε περιστροφή.

Πιο αναλυτικά, η κατασκευή θα έχει σχήμα ρόμβου και θα αποτελείται από τέσσερις αρμούς. Οι δυο οπίσθιοι χρησιμοποιούνται για την στήριξη και την λειτουργία του μηχανισμού ενώ οι δυο εμπρόσθιοι θα έχουν τις απαιτούμενες αναμονές, στις οποίες θα τοποθετηθούν τα απαραίτητα εξαρτήματα που θα πραγματοποιούν την λήψη και την τροφοδοσία των δεδομένων. Πιο αναλυτικά, σε έναν εκ των εμπρόσθιων αρμών θα έχουμε τοποθετήσει μια μικρή πηγή laser (mW) με πρόσθετα οπτικά στοιχεία (π.χ φακούς, πολωτικά και φασματικά φίλτρα), ενώ στον άλλον θα υπάρχει ένα σύστημα φωτο-ανιχνευτή- φωτοδιόδου του οποίου και οι μετρήσεις θα απεικονίζονται σε lcd οθόνη.

Η κίνηση τους θα επιτυγχάνεται μέσω ενός ατέρμονος κοχλία λεπτού σπειρώματος, ενώ η διατήρηση της ισότητας των γωνιών θα επιτυγχάνεται με σύστημα βοηθητικών αρμών, κινηματικών αρθρώσεων και αρχών γεωμετρίας.

Η μεταπτυχιακή εργασία μας έχει ως δομικό στοιχείο την θεωρητική ανάλυση, τον σχεδιασμό και την κατασκευή της διάταξης αυτής, ως μιας πρωτότυπης και παράλληλα καινοτόμας λειτουργίας. Εμπορικά δεν είναι διαθέσιμη, για αυτό και θα αποτελέσει την απαραίτητη βάση για ανάπτυξη νέων πειραματικών μεθόδων

μετρήσεων βασικών οπτικών παραμέτρων χαρακτηρισμούς υλικών. Θεωρητικές αναφορές έγιναν σχετικά με τα μέρη που την απαρτίζουν, την θεωρητική ανάλυση τους, τα χαρακτηριστικά βηματικών κινητήρων και τέλος την θεωρητική ανάλυση του arduino.

Introduction-summary

In the following thesis, we will present an automated kinematic arrangement of a four-joint system, which, during their movement, will be able to maintain very precisely equal angles with respect to the fixed material sample holding table. The purpose of the setup will be to measure its characteristic optical properties (e.g. polarized reflectivity and refractive index).

The device constructed for the purpose of sample recognition of various materials and its design is based on Brewster's Law. The basic idea derives from the Brewster angle of incidence, also known as the angle of total polarization, i.e. the angle of incidence of light for which the reflected ray is perpendicular to the refracted ray. When an incident ray which is unpolarized, falls on the surface at the angle, it has the property of being reflected completely polarized.

When light is incident on an interface of two materials, with different refractive indices, part of the radiation is reflected from the surface at a certain angle of reflection and part of the radiation is refracted at a certain angle of refraction. At a certain angle of incidence a part of the light at a certain level of polarization cannot be reflected. This angle of incidence is called the Brewster angle of incidence.

Each material has a refractive index, which is also unique. This is how we find the Brewster angle of incidence, with which the refractive index of the samples we will examine each time will be verified, in order to identify the material from which they are made.

The operation of our construction is based on the above theory, which is implemented with the simultaneous equiangular movement of the joints that will be carried out using a stepper motor with an integrated speed reducer. The stepper motor with the help of the Arduino will rotate the screw and consequently change the degrees of the joints, thus achieving a different angle of incidence of the laser beam at each rotation.

More specifically, the construction will have a rhombus shape and will consist of four joints. The two rear ones are used to support and operate the mechanism, while the two front ones will have the required slots, in which the necessary components will be placed that will carry out the download and supply of data. In more detail, in one of the front joints we will have placed a small laser source (mW) with additional optical elements (e.g. lenses, polarizing and spectral filters), while in the other there will be a photo-detector-photodiode system whose the measurements will be displayed on an LCD screen.

Their movement will be achieved through a fine thread screw, while maintaining the equality of the angles will be achieved through a system of auxiliary joints, kinematic joints and principles of geometry.

Our thesis has as a structural element the theoretical analysis, design and construction of this construction, as an original and at the same time innovative function. Not commercially available, for this it shall form the necessary basis for the development of new experimental methods of measurements of basic optical parameters and characterization of materials. Theoretical references were made regarding the parts that

consists of, their theoretical analysis, the characteristics of stepper motors and finally the theoretical analysis of the arduino.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Εισαγωγή.....	3
Κεφάλαιο 1 «Ανάλυση- μελέτη αυτοματοποιημένης κινηματικής διάταξης»	
1.1 Ανάκλαση του φωτός.....	9
1.2 Διάθλαση του φωτός.....	10
1.3 Πόλωση.....	13
1.3.1 Είδη πόλωσης.....	14
1.3.2 Μέθοδοι Πόλωσης Φωτός.....	15
1.4 Γωνία Brewster.....	17
1.5 Φασματοσκοπία.....	19
1.5.1 Κατηγορίες φασματοσκοπίας-Απορρόφηση και Εκπομπής	22
1.5.2 Εφαρμογές- Τεχνικές φασματοσκοπίας.....	23
1.6 Λείζερ.....	24
1.6.1 Τεχνικές Φασματοσκοπίας Λείζερ	24
1.7 Ο Διανυσματικός Χαρακτήρας του Φωτός.....	26
Κεφάλαιο 2 «Μέρη που απαρτίζουν την αυτοματοποιημένη κινηματική διάταξη»	
2.1 Εισαγωγή.....	29
2.2 Αρχική ιδέα- μελέτη διάταξης.....	29
2.3 Υλοποίηση αυτοματοποιημένη κινηματική διάταξης- ιδιοκατασκευής.....	33
2.4 Μέρη κατασκευής.....	35
2.4.1 Αρμοί.....	35
2.4.2 Κοχλίας και μεταλλικοί ράβδοι.....	37
2.4.3 Φωτοδίοδος.....	43
2.4.4 Λείζερ.....	45
2.4.5 Πολωτικό φίλτρο.....	45
2.4.6 Βηματικός κινητήρας.....	46

2.4.7 Arduino.....	48
2.4.7.1 Εισαγωγή για Arduino.....	48
. 2.4.7.2 Μέρη Arduino.....	51
2.8 Τελική διάταξη.....	49
Κεφάλαιο 3 «Πείραμα- μετρήσεις»	
3.1 Συνθήκες μετρήσεων.....	60
3.2 Εφαρμογές.....	63
3.3 Συμπεράσματα και κριτική προβλημάτων.....	63
3.4 Πλεονεκτήματα μεθόδου και μετρητικής διάταξης.....	63
3.5 Επισκόπηση.....	63
Παράρτημα 1.....	64
Βιβλιογραφία.....	79

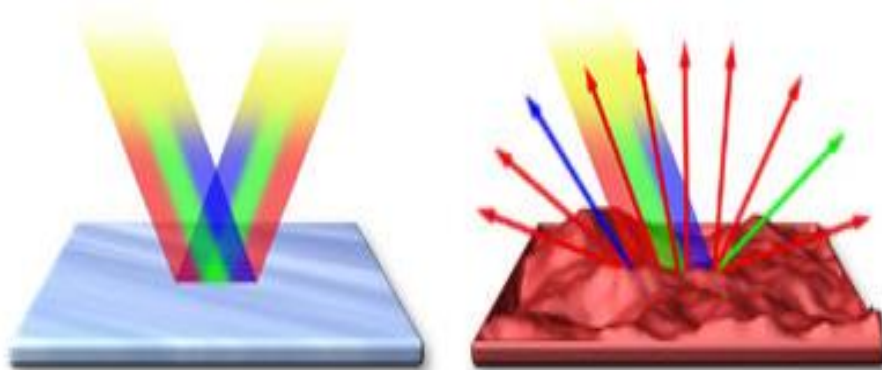
Κεφάλαιο 1

«Ανάλυση- μελέτη αυτοματοποιημένης κινηματικής διάταξης»

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν τα φυσικά φαινόμενα που πυροδότησαν της σύλληψη της ιδέας, αυτής της εργασίας. Θα αναφερθούν αναλυτικά τι είναι η ανάκλαση και η διάθλαση του φωτός. Τους νόμους που ισχύουν στις περιπτώσεις της ανάκλασης και της διάθλασης τους φωτός. Θα γίνει αναφορά για το φαινόμενο της πόλωσης, τα είδη και τις μεθόδους που πραγματοποιείται. Τί ισχύει για την γωνία Brewster. Με ποιο τρόπο μπορεί να επιδεχθεί ο μηδενισμός της ανακλώμενης δέσμης όταν η πόλωση της ακτίνας πρόσπτωσης είναι κάθετη προς την επιφάνεια, και τι αποτέλεσμα θα υπάρχει όταν η γωνία πρόσπτωσης γίνει ίση με την προβλεπόμενη από την σχέση του Brewster. Τέλος, θα αναλυθεί το φαινόμενο της φασματοσκοπία, οι κατηγορίες που την συντελούν, αλλά και τις τεχνικές που εφαρμόζονται.

Ανάκλαση του φωτός

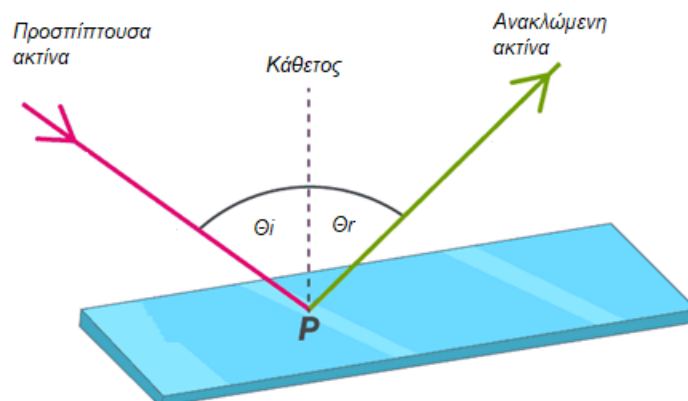
Καθώς το φως που διαδίδεται σε ένα μέσο έρθει σε επαφή με μια άλλη επιφάνεια, ένα ποσοστό του επιστρέφει στο αρχικό μέσο ενώ το άλλο εισχωρεί μέσα της. Στην εικόνα 1 παριστάνεται η ανάκλαση των ακτινών μια φωτεινής παράλληλης δέσμης όταν προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε λεία επιφάνεια. Παρατηρούμε πως οι ακτίνες συνεχίζουν να είναι παράλληλες και μετά την ανάκλασή τους. Η ανάκλαση αυτή ονομάζεται κατοπτρική ανάκλαση.



Εικόνα 1: Στην πρώτη περίπτωση έχουμε κατοπτρική ανάκλαση ενώ στην δεύτερη διάχυση.

Στην δεύτερη περίπτωση η επιφάνεια παρουσιάζει ανομοιομορφία ως προς την δομή της, με αποτέλεσμα οι ακτίνες να ανακλώνται μόλις έρθουν σε επαφή με την επιφάνεια αυτή και διαχέονται σε διάφορες κατευθύνσεις. Όπως φαίνεται στην εικόνα 2 οι ανακλώμενες ακτίνες δεν είναι πια παράλληλες. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διάχυση.

Κάθε φωτεινή ακτίνα που όταν προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε λεία, είτε ανώμαλη και έπειτα ανακλάται με έναν από τους τρόπους που επισημαίνονται παραπάνω, δημιουργεί μια κλίση με το επίπεδο αυτό. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει μια γωνία ανάμεσα στην αρχική διεύθυνση της ακτίνας και την κάθετη στην επιφάνεια, την οποία και ονομάζουμε γωνία πρόσπτωσης (i). Αντίστοιχα, τη γωνία ανάμεσα στην κάθετη της επιφάνειας και στη διεύθυνση της ανακλώμενης ακτίνας, την ονομάζουμε γωνία ανάκλασης (r). Οι γωνίες αυτές φαίνονται αναλυτικά στην εικόνα 2 που ακολουθεί [2].



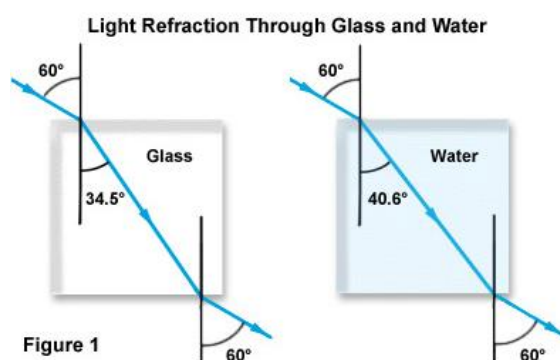
Εικόνα 2: Ανάκλαση φωτεινής ακτίνας, όπου η γωνία πρόσπτωσης θ_i είναι ίση με την γωνία ανάκλασης θ_r .

Παρατηρούμε ότι:

- ✓ Η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη και η κάθετη στην επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης, βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.
- ✓ Η γωνία ανάκλασης θ_r είναι ίση με τη γωνία πρόσπτωσης θ_i . [11]

1.1 Διάθλαση του φωτός

Στην περίπτωση όπου μια φωτεινή ακτίνα έρθει σε επαφή με μια επιφάνεια, η οποία διαχωρίζει το μέσον μέσα στο οποίο διέρχεται μέχρι εκείνη την στιγμή με μια συγκεκριμένη ταχύτητα, με ένα άλλο διαφανές μέσο, τότε ένα μέρος την ακτίνας αυτής ανακλάται σε αντίθεση με το υπόλοιπο που διαθλάται μέσα στο διαφανές μέσο, αλλάζοντας την πορεία του. Στην εικόνα 3 φαίνεται η γωνία που σχηματίζει η διαθλώμενη ακτίνα με την κάθετη στην επιφάνεια. Η γωνία αυτή λέγεται γωνία διάθλασης. [8]



Εικόνα 3: Μετάβαση φωτεινής ακτίνας από ένα μέσο σε άλλο.

Η ταχύτητα του φωτός και η διάδοσή του στο κενό είναι μεγαλύτερη από των υπολοίπων υλικών. Δείκτη διάθλασης (n) του οπτικού υλικού ονομάζεται, ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό (c) ως προς την ταχύτητα του (u) στο υλικό.

Για κάθε υλικό υπάρχει διαφορετικός-μοναδικός δείκτης διάθλασης (Πίνακας 1), ο οποίος αποτελεί έναν καθαρό αριθμό και είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Για τον λόγο ότι η ταχύτητα του φωτός στον αέρα είναι σχεδόν ίση με την ταχύτητα με την οποία διαδίδεται στο κενό, ο δείκτης διάθλασης του αέρα συνήθως θεωρείται ίσος με τη μονάδα.

$$n = \frac{c}{u} = \frac{\lambda_0 \cdot f}{\lambda \cdot f} = \frac{\lambda_0}{\lambda} > 1 \quad (1)$$

Όπου n δείκτη διάθλασης

c ταχύτητα του φωτός στο κενό

u ταχύτητα στο υλικό

Παρατηρούμε ότι:

- ✓ Το "επίπεδο διάθλασης" είναι κάθετο στη "διαθλαστική επιφάνεια".
- ✓ Το ημίτονο του ημίτονου της γωνίας πρόσπτωσης προς το ημίτονο της γωνίας διάθλασης είναι σταθερό για δύο ορισμένα οπτικά μέσα, όπου και υφίσταται η σχέση:
- ✓ "Απόλυτος δείκτης διάθλασης" ορισμένου μέσου για συγκεκριμένη ακτινοβολία και θερμοκρασία είναι το ημίτονο των ταχυτήτων διάδοσης του φωτός ανάμεσα στα δύο σώματα που συμβαίνει η διάθλαση.

Άρα με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι:

- ✓ Η προσπίπτουσα ακτίνα, η διαθλώμενη και η κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων, στο σημείο πρόσπτωσης της ακτίνας βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.
- ✓ Όταν το φως είναι μονοχρωματικό, ο λόγος του ημίτονου της γωνίας πρόσπτωσης (θ_a) προς το ημίτονο της γωνίας διάθλασης (θ_b) είναι ίσος με τον αντίστροφο λόγο των δεικτών διάθλασης των δύο μέσων. Η σχέση αυτή ονομάζεται και νόμος του Snell (Σνέλ) και αναλύεται στην συνέχεια.

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \quad (2)$$

Όπου n_1 δείκτης διάθλασης αέρα

n_2 δείκτης διάθλασης εκάστοτε υλικού

$\eta\mu\theta_1$ ημίτονο γωνίας πρόσπτωσης (θ_1)

$\eta\mu\theta_2$ ημίτονο γωνίας διάθλασης (θ_2)

Η παραπάνω σχέση δείχνει ότι όταν μια ακτίνα διέρχεται από ένα υλικό 1 σε ένα υλικό 2, στο οποίο η ταχύτητα διάδοσής του είναι μικρότερη αντίστοιχα $n_2 > n_1$, τότε θα προκύψει πως η γωνία διάθλασης είναι μικρότερη από τη γωνία πρόσπτωσης. Η διαθλώμενη ακτίνα πλησιάζει στην κάθετη, στο σημείο πρόσπτωσης. Αντίθετα, αν η ταχύτητα του φωτός στο υλικό 2 είναι μεγαλύτερη της ταχύτητάς του στο υλικό 1 ($n_2 < n_1$), τότε η διαθλώμενη ακτίνα απομακρύνεται από την κάθετη.

Ο δείκτης διάθλασης του κενού είναι ίσος με μονάδα. Αυτό σημαίνει πως η ακτίνα που διέρχεται από το κενό σε ένα υλικό, πλησιάζει πάντα την κάθετη. Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, προκύπτει πως η πορεία μιας ακτίνας είναι ίδια είτε αυτή μεταβαίνει από το υλικό 1 στο 2 είτε αντίστροφα.

Σε περίπτωση που το φως διέρχεται από ένα υλικό σε ένα άλλο, η συχνότητά του (f), δεν παραμένει ίδια. Η ταχύτητά διάδοσής του φωτός παρόλα αυτά είναι διαφορετική στα δυο μέσα. Έτσι με βάση τα παραπάνω το μήκος κύματος της ακτινοβολίας πρέπει να είναι διαφορετικό στα δυο μέσα $u=\lambda f$. Επομένως, το μήκος κύματος μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας που μεταβαίνει από το κενό ή τον αέρα σε κάποιο άλλο μέσο μειώνεται.

$$\frac{c_0}{c} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \Leftrightarrow n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad (3)$$

Όπου λ_0 μήκος κύματος του αέρα

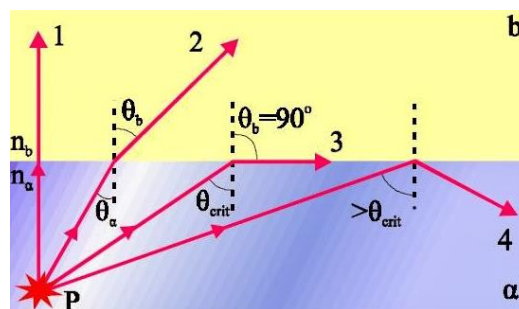
λ μήκος κύματος του φωτός

Υλικό	Δείκτης διάθλασης	Γωνία Brewster
Στερεά		
Πάγος	1,309	52.622
Πυριτική στεφανύαλος	1,52	56.65
Πυρίτιο	3,976	75.88
Κρύσταλλο	1,66	58.93
Φθορίτης	1,434	55.11
Χλωριούχο νάτριο	1,544	57.07
Αδάμας	2,419	67.54
Πλαστικό	1,50-1,67	56.30- 59.08
Γυαλί	1,43	55.03
Γερμανιο	5,699	80.03
Ρουμπίνι	1,71	59.68
Ζιργκόν	1.810-2.024	61.07- 63.70
Σμαράγδι	1.565-1.602	57.42- 58.02
Κερουσίτης	1.804-2.079	60.99- 64.31
Ρουτίλιο	2.616-2.903	69.07- 70.99
Διαμάντι	2.417-2.419	67.52-67.54
Πολυανθρακικό	1,59	57.83
Πολυαιθυλένιο	1.499	56.13
Πλεξιγκλας	1,495	56.22

Υλικό	Δείκτης διάθλασης	Γωνία Brewster
Υγρά		
Νερό	1,333	53.06
Αιθυλική αλκοόλη	1,361	53.69
Λαδίου	1,46	55.59
Βενζόλιο	1,501	56.32
Νιτροβενζόλιο	1.553	57.22
Διθειάνθρακας	1.632	58.50
α-μονοβρωμοναφθαλίνιο	1.658	58.90

Πίνακας 1-2: Αναγράφεται ο δείκτης διάθλασης κάποιων υλικών, ο οποίος είναι μοναδικός για κάθε υλικό.

Ολική ανάκλαση ή ολική εσωτερική ανάκλαση, ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο ένα διαδιδόμενο κύμα ανακλάται κατά 100% προσπίπτοντας σε επιφάνεια που χωρίζει δύο διαφανή οπτικά μέσα. Για να συμβεί αυτό απαραίτητη προϋπόθεση είναι η διάδοση από ένα μέσο σε άλλο με μικρότερο δείκτη διάθλασης, ενώ η γωνία πρόσπτωσης, μετρούμενη από μία κάθετη στην επιφάνεια, να είναι μεγαλύτερη από την οριακή γωνία, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4. Πέρα από την οπτική περιοχή το φαινόμενο που μόλις αναφέρθηκε, λαμβάνει χώρα σε όλα τα ηλεκτρομαγνητικά και ηχητικά κύματα.



Εικόνα 4: Οι ακτίνες φωτός που εκπέμπονται από την P, προσπίπτουν πάνω στην επιφάνεια δύο μέσων που τα ξεχωρίζει. Αν $n_a > n_b$ κάποιες από τις ακτίνες θα έχουν ολική ανάκλαση.

1.2 Πόλωση

Με τον όρο πόλωση, ορίζεται μια σειρά φαινομένων που έχουν άμεση σύνδεση με τον προσανατολισμό των κυμάτων (ηλεκτρομαγνητικά κ.τ.λ) ως αναφορά τον άξονα μετάδοσής τους. Το φως είναι ένας συνδυασμός ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, για τον λόγο αυτό αποτελεί ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

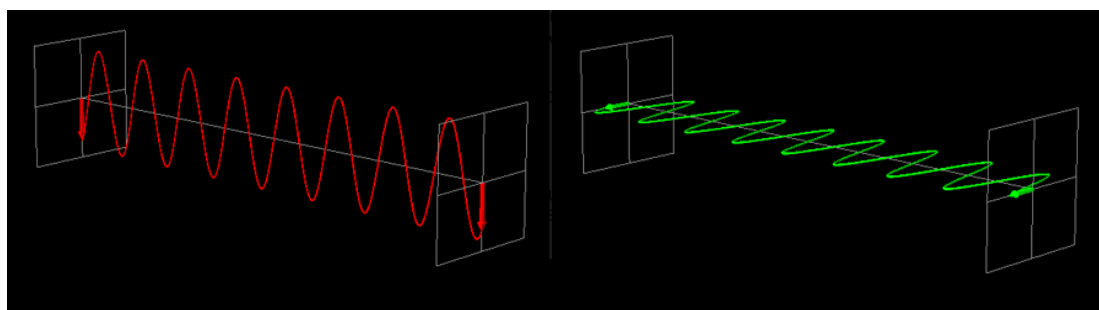
Αυτό το κύμα έχει την παρακάτω λειτουργία. Η ευθύγραμμη πορεία του φωτός- κύματος βρίσκεται στο επίπεδο μέσα στο οποίο η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ταλαντώνεται. Στην περίπτωση που το πεδίο ταλάντωσης του ηλεκτρικού πεδίου ταλάντωσής του φωτός-κύματος παραμένει ίδιο για όλα τα φωτόνια που το απαρτίζουν παρουσιάζεται το φαινόμενο πόλωσης του φωτός.

Υπάρχουν τρεις τρόπο για να προκύψει πόλωση του φωτός. Είτε με ανάκλαση (φυσική πόλωση), είτε με σκέδαση, είτε με πολωτικό φίλτρο. Όταν το φως πέσει πάνω σε μια επιφάνεια, ένα μέρος του διεισδύει στην

επιφάνεια αυτή (διάθλαση), ενώ το υπόλοιπο μέρους του ανακλάται. Επιπλέον, ένα πολύ μικρό μέρος του φωτός απορροφάτε από το εκάστοτε υλικό (θέρμανση) ή διαχέεται ή σκεδάζεται.[1]

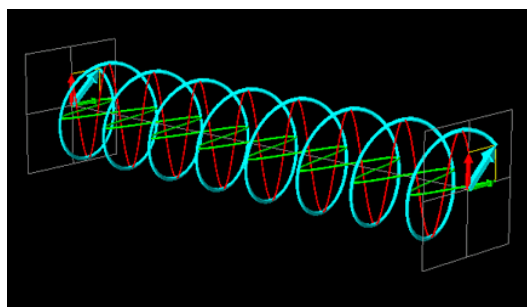
1.3.1 Είδη πόλωσης

Τα είδη πόλωσης είναι γραμμική, κυκλική και ελλειπτική. Το γραμμικό πολωμένο κύμα φως σημαίνει ότι το ηλεκτρικό πεδίο δονείται σε μια ορισμένη γραμμική διεύθυνση κάθετα στον άξονα του κύματος και το μαγνητικό πεδίο δονείται σε μια διεύθυνση που είναι κάθετη και στους δύο, τον άξονα προώθησης και την κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου. Η κατεύθυνση της πόλωσης θεωρείται η κατεύθυνση της δόνησης του ηλεκτρικού πεδίου. Η πόλωση μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε άλλη κατεύθυνση κάθετη στον άξονα του κύματος. Η περιστροφή της πόλωσης κατά 180° δεν οδηγεί σε μια ορθολογικά διαφορετική κατάσταση. Στην γραμμική πόλωση το ηλεκτρομαγνητικό κύμα κινείται σε γραμμική κατεύθυνση έχοντας ορίσει ένα άξονα, είτε οριζόντια είτε κάθετα, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 5.[3]



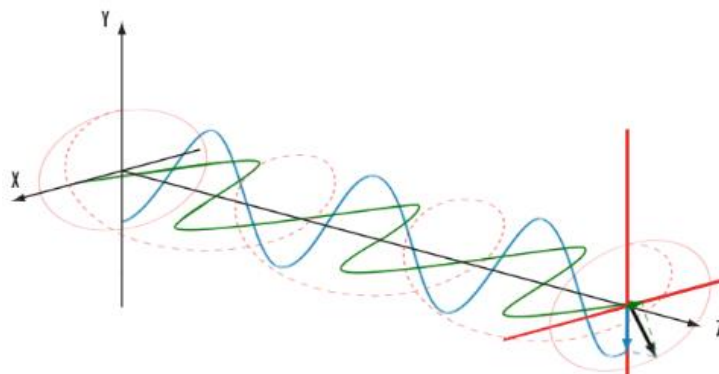
Εικόνα 5: Στην πρώτη περίπτωση απεικονίζεται γραμμικά πολωμένο ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που κινείται με κάθετη κατεύθυνση, ενώ στην δεύτερη σε οριζόντια κατεύθυνση.

Κατά την κυκλική πόλωση η κατεύθυνση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος ποικίλει ανάλογα με την περιστροφή στο επίπεδο διατηρώντας όμως σταθερό το μέγεθός του, όπως φαίνεται στην εικόνα 6. Οι τύποι την κυκλικής πόλωσης είναι αριστερός και δεξιός. Είναι ο τύπος πόλωσης στον οποίο σε κάθε σημείο, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο έχει σταθερό μέγεθος αλλά η διεύθυνσή του περιστρέφεται με σταθερή τιμή σε επίπεδο κάθετο προς την κατεύθυνση του κύματος. Ένα κυκλικά πολωμένο κύμα μπορεί να περιστρέφεται με δύο τρόπους, είτε το διάνυσμα ηλεκτρικού πεδίου περιστρέφεται ανάλογα με την κατεύθυνση διάδοσης προς τη δεξιά κατεύθυνση είτε σύμφωνα με την κατεύθυνση διάδοσης με την αριστερή έννοια. Το φαινόμενο της πόλωσης αναδύεται ως αποτέλεσμα του γεγονότος ότι το φως λειτουργεί ως εγκάρσιο κύμα 2 διαστάσεων.



Εικόνα 6: Κυκλική πόλωση ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Είναι ο τύπος πόλωσης όπου η κορυφή του διανύσματος ηλεκτρικού πεδίου ορίζει μια έλλειψη σε οποιοδήποτε σταθερό επίπεδο διέλευσης και είναι κάθετη προς την κατεύθυνση διάδοσης. Ένα ελλειπτικά πολωμένο κύμα μπορεί να διακλαδίζεται σε δύο γραμμικά πολωμένα κύματα με τα επίπεδα πόλωσης τους κάθετα μεταξύ τους. Καθώς το ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να περιστρέφεται δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα ενώ διαδίδεται, τα ελλειπτικά πολωμένα κύματα δείχνουν χειραλικότητα. Η κυκλική πόλωση και η γραμμική πόλωση μπορούν να θεωρηθούν ως ειδικές περιπτώσεις ελλειπτικής πόλωσης. Στην ελλειπτική πόλωση η διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος γίνεται σε ελλειπτική τροχιά ως προς το επίπεδο. Στην εικόνα 7 παρουσιάζεται αυτό το είδος πόλωσης.^[12]



Εικόνα 7: Ελλειπτική πόλωση ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

1.3.2 Μέθοδοι Πόλωσης Φωτός

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι πόλωσης του φωτός, αλλά οι παρακάτω τέσσερις είναι οι πιο δημοφιλείς.

- ✓ Πόλωση με διασπορά
- ✓ Πόλωση με αντανάκλαση
- ✓ Πόλωση με διάθλαση
- ✓ Πόλωση με μεταφορά

Πόλωση με σκέδαση: Όταν το φως ταξιδεύει μέσα από ένα μέσο, τα άτομα του μέσου (επίσης η σκόνη που υπάρχει στο μέσο) δονούνται και παράγουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Αυτά τα κύματα ακτινοβολούνται προς τα έξω και έτσι το φως διασκορπίζεται. Σε όλη αυτή τη διαδικασία, η απορρόφηση και η ύφεση των κυμάτων φωτός συμβαίνει σε όλο το υλικό. Το σκεδαζόμενο φως είναι επίσης γνωστό ως μερικώς πολωμένο. Η μετάδοση αυτών των μερικώς πολωμένων φώτων προκαλεί αντανάκλαση.

Πόλωση με αντανάκλαση: Όταν το μη πολωμένο φως πέφτει σε μια μη μεταλλική επιφάνεια, σε μια συγκεκριμένη γωνία, η επιφάνεια αντανακλά το πολωμένο φως. Σε αυτή τη διαδικασία, η γωνία πρόσπτωσης και η μη μεταλλική επιφάνεια παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση του μεγέθους της πόλωσης.

Πόλωση με διάθλαση: Διάθλαση είναι όταν ένα φωτεινό κύμα ταξιδεύει από το ένα μέσο στο άλλο, αλλάζει την κατεύθυνση και την ταχύτητά του. Αυτή η διαθλασμένη δέσμη επιτυγχάνει κάποιο βαθμό πόλωσης. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η πόλωση με διάθλαση συμβαίνει στο επίπεδο που είναι κάθετο στην επιφάνεια.

Πόλωση μέσω μετάδοσης: Σε αυτή τη μέθοδο, περιλαμβάνει τη χρήση υλικών φίλτρων που έχουν ειδική χημική σύνθεση. Είναι γνωστά ως φίλτρα Polaroid. Αυτά τα φίλτρα polaroid μπορούν να μπλοκάρουν ένα από τα δύο επίπεδα ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Όταν το μη πολωμένο φως μεταδίδεται μέσω αυτών των φίλτρων polaroid, φιλτράρει το ήμισυ των δονήσεων του φωτός σε ένα μόνο επίπεδο. Αυτό το πολωμένο φως έχει το ήμισυ της έντασης.^[13]

Ο συντελεστής ανάκλασης είναι μια παράμετρος που περιγράφει πόσο ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα ανακλάται από μια ασυνέχεια σύνθετης αντίστασης στο μέσο μετάδοσης. Είναι ίσος με τον λόγο του πλάτους του ανακλώμενου κύματος προς το προσπίπτον κύμα, με το καθένα να εκφράζεται ως φάσεις και να συμβολίζεται με το σύμβολο Γ .

$$\Gamma = \frac{V_-}{V_+} \quad (4)$$

Όπου V ανακλώμενο κύμα

V_+ προσπίπτοντος κύμα

Πόλωση μέσω Αντανάκλασης

Εάν το φως προσπίπτει σε μια διεπαφή έτσι ώστε να υπάρχει γωνία 90° μεταξύ των ανακλώμενων και διαθλώμενων ακτινών, το ανακλώμενο φως θα πολωθεί γραμμικά. Η κατεύθυνση της πόλωσης (όπως δείχνουν τα διανύσματα του ηλεκτρικού πεδίου) είναι παράλληλη με το επίπεδο της διεπαφής.

Η ειδική γωνία πρόσπτωσης που δημιουργεί γωνία 90° μεταξύ της ανακλώμενης και της διαθλασμένης ακτίνας ονομάζεται γωνία Brewster, α_p .

Γιατί το ανακλώμενο φως είναι πολωμένο; Ας υποθέσουμε ότι το προσπίπτον φως δεν είναι πολωμένο. Όταν το προσπίπτον φως διασχίζει τη διεπαφή, το φως απορροφάτε προσωρινά από άτομα στο δεύτερο μέσο. Τα ηλεκτρόνια σε αυτά τα άτομα ταλαντώνονται εμπρός και πίσω προς την κατεύθυνση των διανυσμάτων ηλεκτρικού πεδίου στη διαθλασμένη ακτίνα, κάθετα προς την κατεύθυνση που ταξιδεύει το διαθλασμένο φως.

Το φως εκπέμπεται εκ νέου από τα άτομα για να σχηματίσει τόσο τις ανακλώμενες όσο και τις διαθλώμενες ακτίνες. Τα διανύσματα ηλεκτρικού πεδίου στο φως ταιριάζουν με την κατεύθυνση που ταλάντωναν τα ηλεκτρόνια και πρέπει να είναι κάθετα προς την κατεύθυνση διάδοσης του κύματος. Όταν το φως εισέρχεται στη γωνία Brewster, το ανακλώμενο κύμα δεν έχει διανύσματα ηλεκτρικού πεδίου παράλληλα με τη διαθλασμένη ακτίνα, επειδή τα ηλεκτρόνια δεν ταλαντώνονται κατά μήκος αυτής της κατεύθυνσης. Το ανακλώμενο κύμα επίσης δεν έχει διανύσματα ηλεκτρικού πεδίου παράλληλα με την ανακλώμενη ακτίνα, επειδή αυτή είναι η κατεύθυνση διάδοσης του κύματος. Η μόνη δυνατή κατεύθυνση είναι κάθετη στο επίπεδο της εικόνας, επομένως η ανακλώμενη ακτίνα είναι γραμμικά πολωμένη.

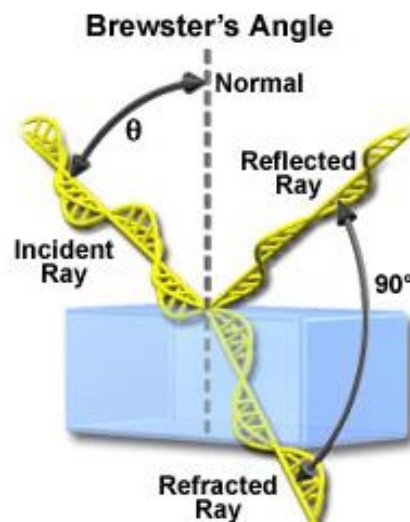
Η διαθλασμένη ακτίνα είναι εν μέρει πολωμένη επειδή έχει περισσότερο φως με διανύσματα ηλεκτρικού πεδίου στο επίπεδο της εικόνας παρά κάθετα σε αυτήν.

Εάν η γωνία πρόσπτωσης είναι κάτι διαφορετικό από το 0° και τη γωνία Brewster, η ανακλώμενη ακτίνα είναι επίσης εν μέρει πολωμένη.^[13]

Η βασική ιδέα της διάταξης αυτής στηρίχτηκε στην πόλωση από ανάκλαση και διάθλαση. Χρησιμοποιώντας μόνο το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί κάποιος να καταλάβει αν το φως έχει δεχτεί πόλωση. Η πόλωση μπορεί να περιγράψει είτε από το μήκος κύματος είτε από την φωτονική φύση του φωτός. Συγκεκριμένα, το φως θεωρείται ότι αποτελείται από εγκάρσιες διαταραχές των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, δηλαδή ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Ουσιαστικά, η πόλωση καθορίζεται από τη σταθερότητα ή τον μη προσανατολισμό του φορέα του ηλεκτρικού πεδίου. Η ανάλυση αφορά την εικόνα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου του φορέα, για το οποία θα ακολουθήσει κάποια ανάλυση στην συνέχεια.

1.4 Γωνία Brewster

Για μια μοναδική γωνία πρόσπτωσης θα, για την οποία η ανακλώμενη και η διαθλώμενη ακτίνα φωτός είναι συμπληρωματικές, οι διευθύνσεις ταλάντωσης για το ηλεκτρικό πεδίο ενσωματώνονται σε μια ευθεία. Άρα το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου μέσα στο δεύτερο υλικό να είναι παράλληλο με τη διεύθυνση της ανακλώμενης ακτίνας. Το ανακλώμενο φως είναι ολικά γραμμικά πολωμένο παράλληλα προς τη διαχωριστική επιφάνεια και κάθετα στο επίπεδο πρόσπτωσης. Έτσι η πόλωση αυτή δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί. Στην εικόνα 8 παρουσιάζεται με μεγάλη ακρίβεια όσα αναφέρθηκαν παραπάνω για την γωνία.



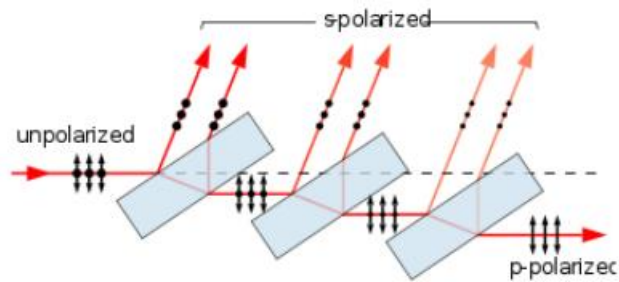
Εικόνα 8: Γωνία ολικής πόλωσης φωτός με την ανακλώμενη και την διαθλώμενη ακτίνα να είναι κάθετες μεταξύ τους.

Έχοντας μια επιφάνεια ενός εξωτερικού μέσου n_1 και ενός διηλεκτρικού με δείκτη διάθλασης n_2 . Οι γωνίες πρόσπτωσης θ_i , ανάκλασης θ_r , και διάθλασης θ_t συνδέονται με τις σχέσεις ανάκλασης και διάθλασης, άρα θα έχουμε:

- $\theta_a = \theta_r$
- $n_1 \sin(\theta_i) = n_2 \sin(\theta_t)$

Έτσι προκύπτει ο τύπος της γωνίας Brewster:

$$\Theta_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \Rightarrow n_2 = \tan(\Theta_B) \quad (10)$$



Εικόνα 9: Αποτελέσματα από διαδοχικές διαθλάσεις σε γωνία Brewster.

- Αν η προσπίπτουσα δέσμη έχει αρχικά “κάθετη-p” πόλωση θα διέλθει αναλλοίωτη.
- Αν πάλι η προσπίπτουσα είχε αρχικά “τυχαία” πόλωση μετά την διέλευση θα έχει απαλλαγεί από ένα μέρος της “παράλληλης-s”, συνεπώς θα έχει αυξημένο ποσοστό “κάθετης-p”. [15]

Μετά από διαδοχικές διαθλάσεις σε γωνία Brewster σε παράλληλα διαφανή πλακίδια η δέσμη πρακτικά θα παραμείνει με σχεδόν 100% “κάθετη πόλωση”, όπως φαίνεται και στην εικόνα 9.

Το φαινόμενο της πόλωσης του φωτός έχει πολλές εφαρμογές στην καθημερινότητά μας. Κάποιες από αυτές τις εφαρμογές είναι τα γυαλιά Polaroid και η ανάκλαση του φωτός σε κάποια υδάτινη επιφάνεια. Ακόμα και στην βιομηχανία για την ανάλυση των τάσεων των προϊόντων χρησιμοποιείται αυτή η τεχνική. Επιπλέον, για την βελτίωση της όρασης, του υγρού κρυστάλλου και τις οθόνες αφής ακόμα και για την μελέτη αντοχής υλικών χρησιμοποιώντας την μέθοδο της φωτοελαστικότητας πρωταγωνιστικό ρόλο παίζει το φαινόμενο της πόλωσης. Ακόμα και για την επίτευξη καλύτερης αντίθεσης, τον κορεσμό χρωμάτων και διαύγειας σε λήψεις με ηλιακό φως, τον έλεγχο της αντανάκλασης σε μια φωτογραφία χρησιμοποιούνται διάφορα πολωτικά φίλτρα, όπως φαίνονται στην εικόνα 10 που ακολουθεί.



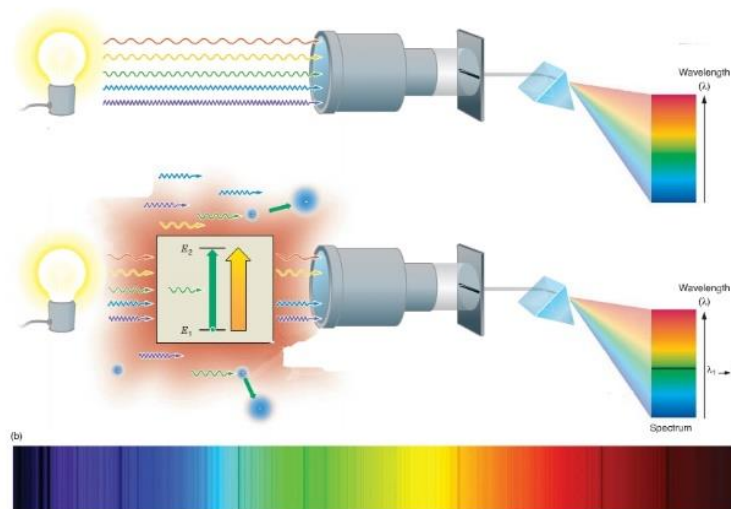
Εικόνα 10: Φίλτρα UV: ελαττώνει την υπεριώδη ακτινοβολία που δεν είναι ορατή με το γυμνό μάτι και προκαλεί μια ελαφριά θολούρα, Φίλτρα CPL για την αύξηση της αντίθεσης και του κορεσμού, Φίλτρα FLD για την ρύθμιση της ποσότητας του πολωμένου φωτός το οποίο θα εισέλθει στο φακό με αποτέλεσμα την απορρόφηση των αντανάκλασεων.

1.5 Φασματοσκοπία

Η φασματοσκοπία ή φασματομετρία, θεωρείται η μελέτη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μιας φωτεινής πηγής. Η φασματοσκοπία αποτελεί κομμάτι της Φυσικής και πιο συγκεκριμένα της Οπτικής ή Κυματικής οπτικής. Η επιστήμη αυτή, ερευνά και μελετά την δομή, την σύσταση και τις ιδιότητες των φασμάτων της ύλης καθώς και των διαφόρων ακτινοβολιών.[12]

Σε ένα πείραμα του το 1668, ο Νεύτωνας, κατάφερε να λάβει το φάσμα του Ηλιακού φωτός. Χρησιμοποίησε ένα διαφανές πρίσμα, το οποίο το διαπερνούσε μια λεπτή φωτεινή δέσμη. Με την παραπάνω διαδικασία, δημιουργήθηκε μια πολύχρωμη δέσμη κατά μήκος. Τα χρώματα που την αποτέλεσαν ήταν το κόκκινο, το πορτοκαλί, το κίτρινο, το πράσινο, το μπλε και το ιώδες, όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 11. Στην συνέχεια τοποθέτησε και δεύτερο ισότροπο πρίσμα και το συμπέρασμα ήταν πως, κάθε μια μονοχρωματική αναδυόμενη δέσμη δεν αναλύεται περαιτέρω. Τα αποτελέσματα τις παραπάνω διαδικασίας ήταν τα εξής:

- Οι φωτεινές ακτίνες διαφόρων χρωμάτων (δηλαδή συχνοτήτων) υφίστανται διαφορετική διάθλαση εξαρτώμενη από το μήκος κύματος (ή συχνότητα).
- Οι ηλιακές ακτίνες αναλύονται σε ευρύ φάσμα όλων των χρωμάτων που αναλύονται επειδή έχουν διαφορετικό δείκτη διάθλασης ή πιο σωστά διαφορετική ταχύτητα.
- Οι ακτίνες που δεν αναλύονται περισσότερο από το διαφανές πρίσμα αποτελούνται από μονοχρωματική ακτινοβολία.



Εικόνα 11: Ανάλυση χρωμάτων φωτεινής δέσμης μέσω πρίσματος.

Οι κατηγορίες φασματοσκοπίας, οι οποίες ακολουθούν στην συνέχεια, προέκυψαν από ένα σύνολο πειραματικών τεχνικών, προκειμένου να μελετηθεί η αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την ύλη. Αυτού του είδους αλληλεπίδραση, μπορεί να προκαλέσει είτε συνεχείς αλλαγές της κατεύθυνσης της ακτινοβολίας, είτε μετάβαση μεταξύ των ενεργειακών σταθμών των ατόμων ή των μορίων.[5]

- ✚ Απορρόφησης,
- ✚ Εκπομπής και

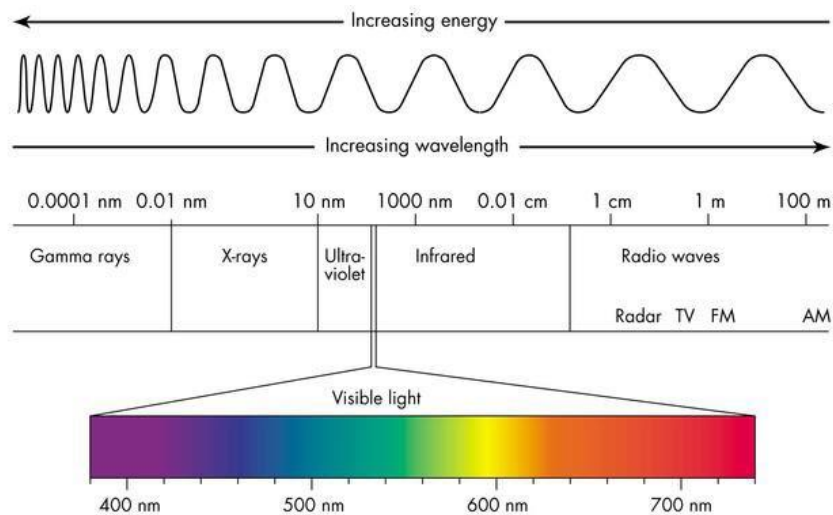
✚ Σκέδασης.

Οι μέθοδοι φασματοσκοπίας που ακολουθούν παρακάτω, χωρίζονται με βάση την ακτινοβολία παρατήρησης και τον τρόπο μέτρησης

- ✓ Φθορισμού
- ✓ Ακτινών Χ
- ✓ Φλογοφωτομετρία
- ✓ Ατομικής Εκπομπής
- ✓ Ατομικής Απορρόφησης
- ✓ Υπέρυθρη Φασματοσκοπία
- ✓ Πυρηνική μαγνητική φασματοσκοπία συντονισμού και άλλες [6]

Στην εικόνα 12 παρουσιάζονται αναλυτικά οι περιοχές της φασματοσκοπίας. Κάποιες από τις περιοχές που θα μας απασχολήσουν είναι αυτή των μικροκυμάτων, η φασματοσκοπία υπέρυθρου και η φασματοσκοπία υπεριώδους/ορατού.

- Η φασματοσκοπία μικροκυμάτων (microwave), αφορά την περιστροφή των μορίων, δηλαδή τον υπολογισμό των ροπών αδράνειας και του μήκους των δεσμών τους.
- Η φασματοσκοπία υπέρυθρου (infrared), σχετίζεται με την μελέτη της δόνησης των μορίων, παρέχοντας έτσι πληροφορίες που αφορούν την ακαμψία και την ισχύ των χημικών δεσμών.
- Τέλος, η φασματοσκοπία υπεριώδους/ορατού (UV/vis), χρησιμοποιείται για την μελέτη της ηλεκτρονιακής δομής των μορίων.

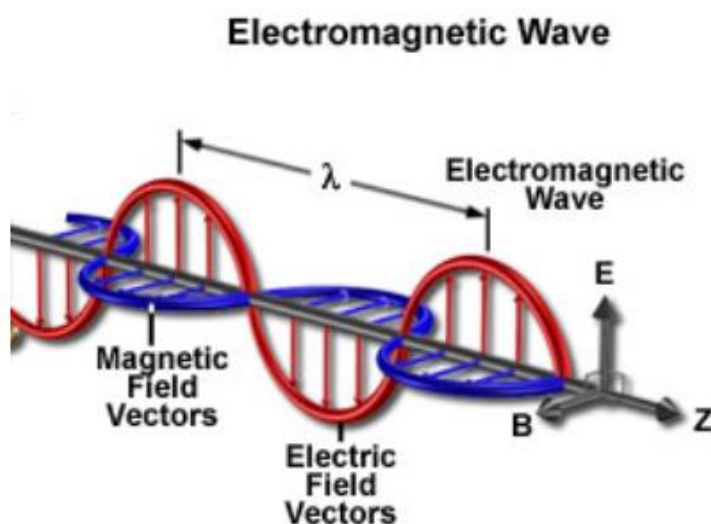


Εικόνα 12: Εύρος περιοχών φασματοσκοπίας.

Όπως προαναφέρθηκε η αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την ύλη, μας οδήγησε στον διαχωρισμό των κατηγοριών της φασματοσκοπίας. Τί είναι όμως η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία;

Το φως παρουσιάζει ηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες, σύμφωνα με τον Maxwell. Με βάση αυτήν την αναφορά, το φως αποτελεί μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, δηλαδή μια κάθετη αυξομείωση με μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο, όπως απεικονίζεται και στην εικόνα 13.

Έτσι προκύπτει πως το μαγνητικό με το ηλεκτρικό πεδίο της ακτινοβολίας παρουσιάζει μια συνεχή αλληλεπίδραση με την ύλη, δηλαδή τα άτομα, τα μόρια και τα ιόντα που την αποτελούν, με αποτέλεσμα την δημιουργία φασμάτων.[5]



Εικόνα 13: Κάθετη αυξομείωση με μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο.

Η ερμηνεία των φασμάτων επιτυγχάνεται κατόπιν της εκ βάθους κατανόησης της φύσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και την αλληλεπίδρασή της με την ύλη. Η αλληλεπίδραση αυτή δημιουργεί ένα φάσμα.

Η διάδοση των δυο πεδίων πραγματοποιείται με απόλυτο συγχρονισμό, με ταχύτητα διάδοσης ίση με εκείνη του φωτός, δηλαδή $c=2,9979 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$. Η διάδοση ενός επίπεδου κύματος προς μια κατεύθυνση, περιγράφει με στοιχειώδη τρόπο την ηλεκτρική συνιστώσα. Το πλάτος του κύματος μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου και την απόσταση που διανύει, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εξίσωση.

$$x = A \sin[2\pi(v \cdot z - vt)] \quad (4)$$

Όπου: X μήκος κύματος

A μέγιστο πλάτος κύματος (προβολή σημείου πάνω στον άξονα)

V συχνότητα (αριθμός κυμάτων ανά δευτερόλεπτο)

$V \sim$ κυμαριθμός $\frac{1}{\lambda}$

λ μήκος κύματος (η απόσταση μεταξύ δυο κυμάτων)

Η ισχύς μιας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, χαρακτηρίζεται από την ενέργεια μιας δέσμης που έρχεται σε επαφή με μια επίπεδη επιφάνεια ανά δευτερόλεπτο. Αντίστοιχα, η ισχύς της ακτινοβολίας ανά μονάδα μη κινητής γωνίας, ονομάζεται ένταση. Τα δυο αυτά μεγέθη είναι ποσά ανάλογα με το τετράγωνο του πλάτους της

ακτινοβολίας Α. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι εξισώσεις ηλεκτρικής και μαγνητικής συνιστώσας για την ακτινοβολία.

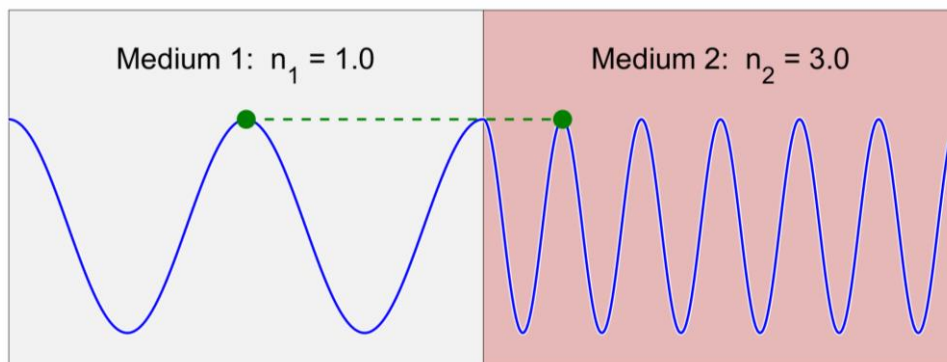
$$E_x = E_{0,x} \sin[2\pi(\nu t - vt)] \quad (5)$$

$$H_y = H_{0,y} \sin[2\pi(\nu t - vt)] \quad (6)$$

Όπου το $E_{0,x}$ είναι το μέγιστο πλάτος ηλεκτρομαγνητικής συνιστώσας

το $H_{0,y}$ είναι το μέγιστο πλάτος ηλεκτρομαγνητικής συνιστώσας

Η συχνότητα με την οποία θα εκπέμπεται μια δέσμη ακτινοβολίας από οποιαδήποτε πηγή εξαρτάται από την ίδια την πηγή και δεν μεταβάλλεται, σε αντίθεση με το μήκος κύματος και την ταχύτητα διάδοσης της, τα οποία τροποποιούνται κάθε φορά ανάλογα με το υλικό που εισέρχονται, όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 14. Όπως φαίνεται από το σχήμα η ένταση της δέσμης και το πλάτος της εκπέμπονται με συγκεκριμένο ρυθμό, παρόλα αυτά η ταχύτητα μετάδοσης της και το μήκος κύματος μεταφέρονται με μεγαλύτερη ταχύτητα στον αέρα από ότι στο γυαλί.^[7]



Εικόνα 14: Αλλαγή μήκους κύματος και ταχύτητας από υλικό σε υλικό .

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίζεται σε δυο κατηγορίες με βάση τον αριθμό του μήκους κυμάτων που την αποτελούν. Άμα αποτελείται από ένα μήκος κύματος ονομάζεται μονοχρωματική, ενώ αν περιγράφεται από δυο ή παραπάνω συχνότητες (ένα η παραπάνω μήκη κύματος), ονομάζεται πολυχρωματική.

1.5.1 Κατηγορίες φασματοσκοπίας-Απορρόφηση και Εκπομπής

Όλα τα σωματίδια (άτομα, ιόντα και μόρια) βρίσκονται σε συγκεκριμένες καταστάσεις, οι οποίες περιέχουν ορισμένες ποσότητες ενέργειας. Με την αλλαγή όμως της κατάστασης ενός σωματιδίου, η ποσότητα ενέργειας που εκπέμπει ή απορροφά είναι ίδια με την διαφορά της ενέργειάς των δυο καταστάσεων.^[5] Ο τύπος που ακολουθεί αφορά την εύρεση της ενεργειακής διαφοράς από την μια κατάσταση στην άλλη.

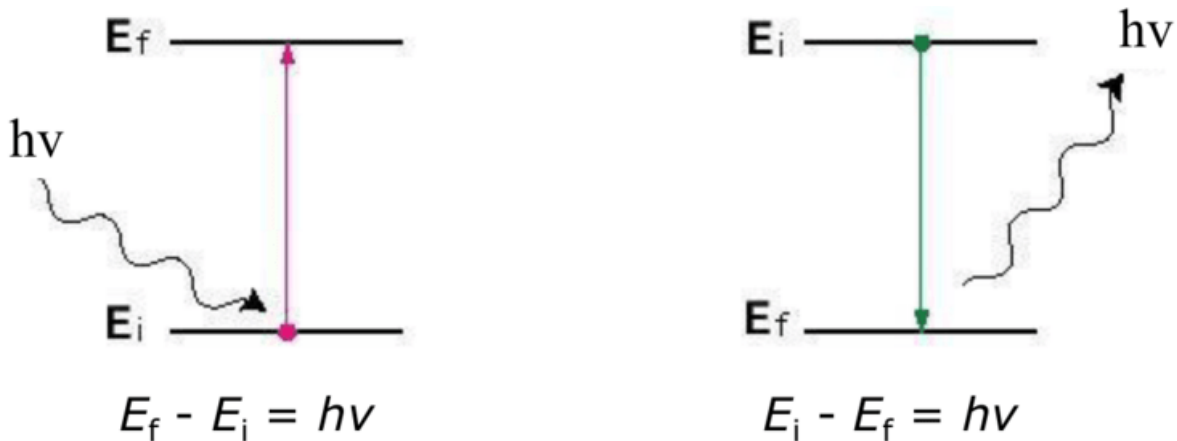
$$\Delta E = E_1 - E_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (7)$$

Όπου: ν συχνότητα (αριθμός κυμάτων ανά δευτερόλεπτο)

λ μήκος κύματος της ακτινοβολίας

ΔΕ διαφορά ενέργειας

Σε περίπτωση επαφής μιας πολυχρωματικής ακτινοβολίας με ένα υλικό, μπορεί να προκύψει απομάκρυνση μερικών συχνοτήτων με απορρόφηση ως απόρροια μεταφοράς ενέργειας στα σωματίδια του δείγματος. Η ακτινοβολία που παραμένει μετά την παραπάνω διαδικασία απορρόφησης, ορίζει το φάσμα της απορρόφησης. Αντίστοιχα φάσμα εκπομπής, δημιουργείται όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία λαμβάνεται αμέσως από την πηγή. Στην εικόνα 15 απεικονίζεται η διαφορά ενεργειακής κατάστασης υλικού, είτε με την διαδικασία απορρόφησης, είτε με την διαδικασία εκπομπής ενέργειας.



Εικόνα 15: Αλλαγή φασματικής κατάστασης υλικού.

Το επίπεδο με την μικρότερη ενέργεια είναι το E_1 και ορίζεται ως βασική στάθμη, ενώ το επίπεδο E_2 με την μεγαλύτερη ενέργεια, ορίζεται ως διεγερμένη στάθμη. Έτσι ένα μόριο διεγείρεται με την διαδικασία απορρόφησης της ακτινοβολίας και αποδιεγείρεται με την διαδικασία εκπομπής της ακτινοβολίας.

Η τρίτη κατηγορία φασμάτων πέρα από αυτά της απορρόφησης και της εκπομπής είναι του συντονισμού. Η μαγνητική διπολική ροπή του συνόλου των πυρήνων που αποτελούν τα άτομα και συντελούν στην δομή των μορίων σε αλληλεπίδραση με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, δημιουργούν το φάσμα συντονισμού.

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα αποτελεί μια ακόμα μια κατηγορία φάσματος. Δεν είναι κάτι άλλο παρά η έκταση της ακτινοβολίας που ανάλογα με την ενέργεια που έχει φτάνει από τις ακτίνες γ μέχρι και τα ραδιοκύματα.

1.5.2 Εφαρμογές-Τεχνικές Φασματοσκοπίας

Μια μέθοδος φασματοσκοπίας είναι εκείνη του φθορισμού. Όταν μια η ακτινοβολία έρθει σε επαφή με ένα υλικό, διεγείρει τα άτομα που το αποτελούν. Τα άτομα με την σειρά τους εκπέμπουν και εκείνα ακτινοβολία με υψηλότερη τιμή του λ . Οι δυο αυτές διαδικασίες πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Η φασματοσκοπία φθορισμού στηρίζεται στη ύπαρξη διαφόρων χρωματικών ομάδων, εσωτερικά του μορίου. Πρόκειται λοιπόν, για την ακτινοβολία που εκπέμπεται από το δείγμα και είναι κάθετη στην προσπίπτουσα. Οι πληροφορίες που παίρνει κάποιος κατά την εφαρμογή της τεχνικής του φθορισμού σχετίζεται με την διαμόρφωση και την αλληλεπίδραση μορίων.

Με την εφαρμογή τώρα του φωσφορισμού τα άτομα του υλικού εκπέμπουν πάλι με μεγαλύτερο λ , με μόνη διαφορά πως η διαδικασία αυτή δεν γίνεται ταυτόχρονα με την διέγερση τους.

Ένα από τα είδη φασματοσκοπίας που έχει αναφερθεί στην μέχρι τώρα μελέτη, είναι αυτό της υπερύθρου. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται στην ταυτοποίηση ουσιών και βασίζεται στη διέγερση δονητικών καταστάσεων στα μόρια του εκάστοτε δείγματος, με αποτέλεσμα εκείνο να θερμαίνεται, εξαιτίας της απορρόφησης των υπέρυθρων φωτονίων.

Μια άλλη τεχνική της φασματοσκοπίας είναι εκείνη της άπω υπερύθρου / μικροκυμάτων η οποία εμφανίζεται περιστροφικές ενεργειακές στάθμες μορίων. Όμως σε περιπτώσεις που σε ένα δείγμα δημιουργούνται και περιστροφικές και δονητικές και ηλεκτρονικές διεγέρσεις, απευθυνόμαστε στην φασματοσκοπία βιομορίων.

Τέλος, η φασματοσκοπία NMR (πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού) είναι αποτέλεσμα των μαγνητικών ροπών που αναπτύσσονται στους πυρήνες των ατόμων, με αποτέλεσμα να παράγεται περιστροφικό ηλεκτρικό φορτίο. Η εφαρμογή της επιτρέπει στους χημικούς να ταυτοποιούν και να αναγνωρίζουν δομές χημικών ενώσεων. [5]

1.6 Λείζερ

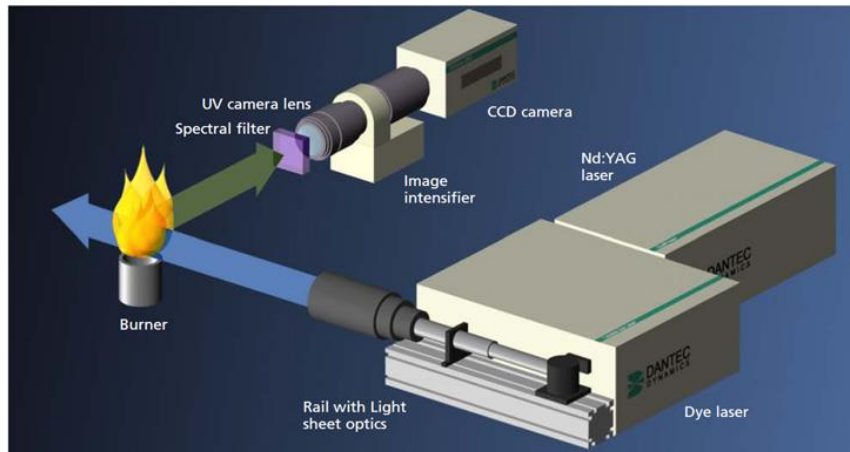
Η εξαναγκασμένη εκπομπή φωτονίων που διέρχεται από ένα ενεργό μέσο, με σκοπό την διέγερση απτική ή ηλεκτρική, έχει ως αποτέλεσμα, την δημιουργία ακτινοβολίας λέιζερ. Σε ένα λέιζερ το μέσο είναι ανάμεσα από δυο κάτοπτρα (κοιλότητες). Η εκπομπή της ακτινοβολίας λέιζερ είναι προς μια κατεύθυνση, έχοντας ένα πολύ μικρό μέρος της διασπορά.

1.6.1 Τεχνικές Φασματοσκοπίας Λείζερ

Αναλύοντας την πρώτη τεχνική φασματοσκοπίας με λέιζερ προκύπτει πως, μόλις το μήκος κύματος του λέιζερ συντονιστεί με την συχνότητα κάποιας ηλεκτροδονητικής μετάπτωσης, παρατηρείται το φαινόμενο του φθορισμού. Με τον τρόπο αυτό συλλέγονται πληροφορίες σχετικά με την διεγερμένη ηλεκτρονική κατάσταση του δείγματος.

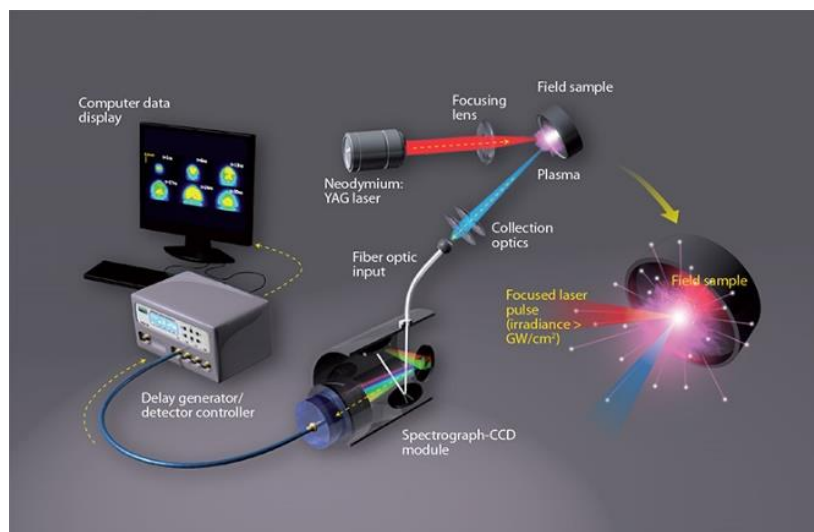
Αντίστοιχα με την ανάλυση του φάσματος του φθορισμού εξάγουμε πληροφορίες είτε για την διεγερμένη, είτε για την βασική ηλεκτρονική κατάσταση. Η διάταξη που χρησιμοποιείται παρουσιάζεται στην εικόνα 16.

Μια τέτοια διάταξη επιτρέπει την εκπομπή μορίων, τα οποία διεγείρονται μόλις βρίσκονται σε μεγαλύτερα ενεργειακά επίπεδα, εξαιτίας της απορρόφησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Με την παραπάνω διαδικασία υπάρχει η δυνατότητα να ανιληφθεί κάποιος τη θεμελιώδη και τις διεγερμένες καταστάσεις των μορίων.



Εικόνα 16: Τυπική φασματοσκοπική διάταξη Lif.

Στην δεύτερη περίπτωση θα εξεταστεί η εκπομπή ακτινοβολίας από το πλάσμα, η οποία θα καταγραφεί και θα αναλυθεί περαιτέρω, έτσι ώστε να δώσει πληροφορίες σχετικά με την σύστασή του. Η δημιουργία του πλάσματος προκύπτει από την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας ενός παλμικού λέιζερ με το δείγμα. Στην εικόνα 17 απεικονίζεται η διάταξη.



Εικόνα 17: Τυπική φασματοσκοπική διάταξη Libs.

Η βασική ιδέα για την μελέτη και την υλοποίηση της δικής μας κατασκευής, στηρίχτηκε στις παραπάνω τεχνικές φασματοσκοπίας λέιζερ.

Για την υλοποίηση της, κατασκευάστηκε μια κινηματική διάταξη, ένα μέρος της οποίας αποτελείται από τέσσερις αρμούς. Κατά την κίνηση τους, θα διατηρούν με μεγάλη ακρίβεια ίσες γωνίες ως προς την σταθερό μέρος, πάνω στο οποίο θα είναι τοποθετημένο το δείγμα. Ουσιαστικά η διάταξη αυτή θα επιτρέπει την μέτρηση χαρακτηριστικών ιδιοτήτων (π.χ. πολωμένης ανακλαστικότητα και δείκτη διάθλασης).

Όταν το φως προσπίπτει σε μια διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών, με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται από την επιφάνεια σε μια συγκεκριμένη γωνία ανάκλασης και ένα μέρος της ακτινοβολία διαθλάται σε μια συγκεκριμένη γωνία διάθλασης. Σε μια ορισμένη γωνία πρόσπτωσης ένα μέρος

του φωτός σε συγκεκριμένο επίπεδο πόλωσης δεν μπορεί να ανακλαστεί. Αυτή η γωνία πρόσπτωσης ονομάζεται γωνία πρόσπτωσης Brewster.

Το κάθε υλικό έχει έναν δείκτη διάθλασης, ο οποίος είναι μοναδικός, βάση του οποίου υπολογίζεται η γωνία πρόσπτωσης Brewster. Η γωνία Brewster, είναι γνωστή και ως γωνία ολικής πόλωσης. Όταν μια τυχαία ακτίνα που είναι μη πολωμένη, πέσει στην επιφάνεια υπό γωνία, έχει την ιδιότητα να ανακλάται ολοκληρωτικά πολωμένη.^[14]

1.7 Ο Διανυσματικός Χαρακτήρας του Φωτός

Το φως μπορεί να θεωρηθεί ως ένα εγκάρσιο ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Με την λέξη κύμα εννοούμε την διάδοση μιας διαταραχής ενός φυσικού μεγέθους. Στο φως το διαταρασσόμενο φυσικό μέγεθος είναι τα αμοιβαία εξαρτώμενα- διανυσματικά πεδία, το ηλεκτρικό και το μαγνητικό. Η έννοια του εγκάρσιου σημαίνει ότι οι φορείς αυτοί κυμαίνονται κάθετα προς την κατεύθυνση διάδοσης. Έτσι, οι προβολές των διανυσμάτων E και H κατά μήκος της κατεύθυνσης διάδοσης είναι πάντα μηδενικές. Στην συνέχεια αναφέρεται μια απλή κυματική έκφραση για το ηλεκτρικό πεδίο είναι η :

$$E = E_0 \cos(\omega t - k * r + \varphi) \quad (8)$$

Όπου: E δiάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου,

R διεύθυνση διάδοσης,

$\omega=2*\pi*n$ κυκλική συχνότητα,

φ αρχική φάση,

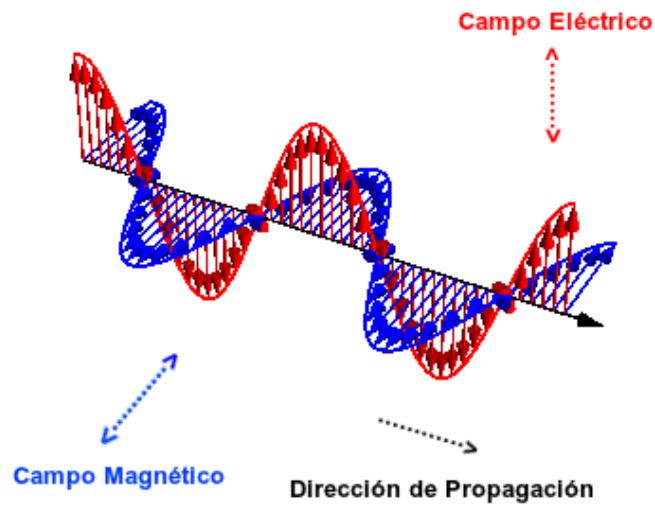
$k=2*\pi/\lambda$ μήκος κύματος

Για να προκύψει εγκάρσιο κύμα θα πρέπει το δiάνυσμά του ηλεκτρικού πεδίου E να είναι κάθετο ως προς την διεύθυνση διάδοσης r . Η αντίστοιχη έκφραση ισχύει και για το μαγνητικό πεδίο. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει ένα επίπεδο αρμονικό κύμα μη πεπερασμένο και το οποίο έχει κυκλική συχνότητα $\omega=2*\pi*n$, αρχική φάση φ , και κυματάνυσμα με μέτρο που αντιστοιχεί στο αντίστροφο του μήκους κύματος του ($k=2*\pi/\lambda$).

Στην εικόνα 18 που ακολουθεί παρουσιάζεται ηλεκτρομαγνητικό κύμα, ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Ένα σύνολο τέτοιων κυμάτων έχοντας διαφορετικές συχνότητες, φάσεις κ.τ.λ αποτελούν έναν φωτεινό παλμό. Το γεγονός πως εξετάζουμε εγκάρσιο κύμα, μας ορίζει αυτόματα το πεδίο ταλάντωσης του ηλεκτρικού πεδίου, δηλαδή το δiάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου πρέπει να είναι κάθετο στη διεύθυνση διάδοσης. Αυτό σημαίνει πως η διεύθυνση της ταλάντωσης του μπορεί να είναι οποιαδήποτε, παραμένοντας πάντοτε σε επίπεδο κάθετο της διεύθυνσης διάδοσης.

Ότι ισχύει στο ηλεκτρικό πεδίο αντίστοιχα ισχύει και στο μαγνητικό πεδίο. Οπότε σχετικά με τις ιδιότητες πόλωσης, θα ασχοληθούμε με την περιγραφή του ηλεκτρικού πεδίου. Όταν το δiάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου ταλαντώνεται κάθετα στην διεύθυνση διάδοσης δημιουργείται ένας μη πεπερασμένος αριθμός εκφράσεων. Για κάθε μια περιστροφή της έκφρασης ως προς την κατεύθυνση διάδοσης έχουμε μια συμβατή λύση. Με την διαδικασία αυτήν θα διαπιστώσουμε πως μπορούν να δημιουργηθούν άπειροι προσανατολισμοί του δiανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου, οι οποίοι θα είναι αποδεκτοί με τη φωτεινή δέσμη. Ένα ηλεκτρικό πεδίο

μεταβάλλεται με τυχαίο χρόνο, μέτρο και διεύθυνση, αλλά με διεύθυνση ταλάντωσης κάθετα στο επίπεδο της διεύθυνσης διάδοσής του.



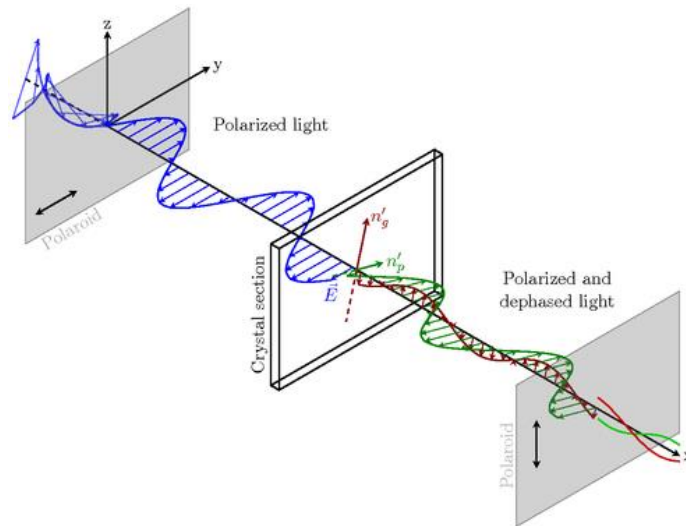
Εικόνα 18: Κυματική δέσμη που διαδίδεται στην κατεύθυνση x και κάθε γραμμικός τους συνδυασμός.

Τέτοιο φως προκύπτει από όλες τις φωτεινές πηγές είτε φυσικές, όπως ο Ήλιος, είτε τεχνητές, όπως το laser και ονομάζεται φυσικό φως. Σε περιπτώσεις όμως όπου μας δίνεται η δυνατότητα να περιορίσουμε την διεύθυνση ταλάντωσης του ηλεκτρικού πεδίου, μόνο σε μια διεύθυνση, έχοντας σταθερό προσανατολισμό ως προς έναν άξονα σε όλα τα σημεία του στον χώρο και σε κάθε χρονική του στιγμή τότε προκύπτει ένα φωτεινό κύμα με την ονομασία γραμμικά ή επίπεδα πολωμένο φως.

Επίπεδο πόλωσης του φωτός χαρακτηρίζεται ένα επίπεδο το οποίο ορίζεται από τις διευθύνσεις των διανυσμάτων k και E_0 . Η γενική έκφραση του ηλεκτρικού πεδίου ενός γραμμικά πολωμένου φωτεινού κύματος που διαδίδεται στη διεύθυνση z είναι :

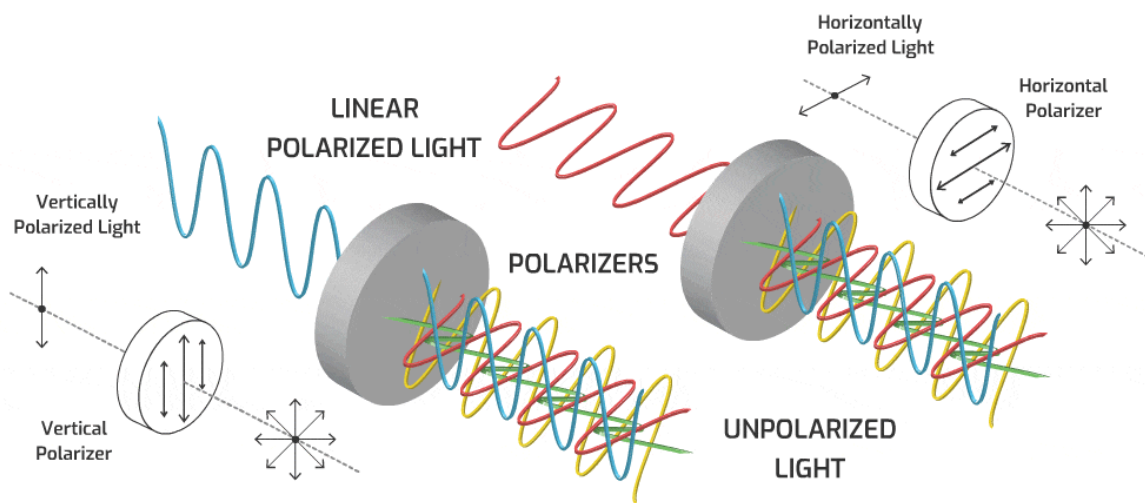
$$E = (E_{0x} * x_0 + E_{0y} * y_0) * \cos(\omega t - kz + \varphi) \quad (9)$$

Το πλάτος του πεδίου είναι το σταθερό κατά διεύθυνση διάνυσμα $E_0 = E_{0x} * x_0 + E_{0y} * y_0$ οποίο σχηματίζει με τον άξονα x μια γωνία α $\tan \alpha = \frac{E_{0y}}{E_{0x}}$, όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 19, ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο έχει δεχτεί πόλωση.



Εικόνα 19: Οι δύο συνιστώσες κατά μήκος ορθογωνίων αγόνων ενός γραμμικά πολωμένου φωτός.

Σε δυο γραμμικά πολωμένες συνιστώσες που αποδίδονται σε κατάλληλα επιλεγμένους ορθογώνιους άξονες μπορεί να αναλυθεί κάθε γραμμικά πολωμένο κύμα. Οι συνιστώσες αυτές διαδίδονται κατά την ίδια διεύθυνση, έχουν ίδια συχνότητα και μήκος κύματος με το αρχικό κύμα. Τέλος, έχουν σταθερή διαφορά φάσης μηδενική. Στην εικόνα 20 παρουσιάζεται παραδείγματα κάθετων και οριζόντιων αποτελεσμάτων πόλωσης μια φωτεινής δέσμης.



Εικόνα 20: Τα είδη πόλωσης, κάθετα και οριζόντια, μιας φωτεινής δέσμης.

Κεφάλαιο 2

«Μέρη που απαρτίζουν την αυτοματοποιημένη κινηματική διάταξη»

2.1 Εισαγωγή

Στην παρακάτω εργασία θα παρουσιάσουμε μια διάταξη που κατασκευάστηκε με σκοπό την αναγνώριση δείγματος διαφόρων υλικών. Η σχεδίαση του βασίζεται στον Νόμο του Brewster. Η βασική ιδέα προκύπτει από την γωνία πρόσπτωσης Brewster, γνωστή και ως γωνία ολικής πόλωσης, δηλαδή τη γωνία πρόσπτωσης φωτός για την οποία η ανακλώμενη ακτίνα είναι κάθετη με την διαθλώμενη ακτίνα. Όταν μια τυχαία ακτίνα που δεν είναι πολωμένη, πέσει στην επιφάνεια με την κατάλληλη γωνία, έχει την ιδιότητα να ανακλάται ολοκληρωτικά πολωμένη. Όταν το φως προσπίπτει σε μια διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών, με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται από την επιφάνεια σε μια συγκεκριμένη γωνία ανάκλασης και ένα μέρος της ακτινοβολία διαθλάται σε μια συγκεκριμένη γωνία διάθλασης. Σε μια ορισμένη γωνία πρόσπτωσης ένα μέρος του φωτός σε συγκεκριμένο επίπεδο πόλωσης δεν μπορεί να ανακλαστεί. Αυτή η γωνία πρόσπτωσης ονομάζεται γωνία πρόσπτωσης Brewster.

Στην παραπάνω θεωρία είναι βασισμένη η κατασκευή αυτή, η οποία και θα αποτελείται από έναν βηματικό κινητήρα, ένα Arduino, ένα λέιζερ, ένα πολωμένο φίλτρο, μια φωτοδίοδο και μια LCD οθόνη. Το βασικό τμήμα της κατασκευής το απαρτίζουν τέσσερις αρθρώσεις και αντίστοιχα τέσσερις σύνδεσμοι, σε σχήμα ρόμβου. Το λέιζερ και η ανακλαστική συσκευή θα βρίσκονται πάνω στους δυο από τους τέσσερις συνδέσμους, στο εμπρόσθιο μέρος της διάταξης. Με τρόπο αυτό ο βηματικός κινητήρας με την βοήθεια του Arduino, θα περιστρέφει τον κοχλία του βρίσκονται πάνω οι σύνδεσμοι, επιτυγχάνοντας διαφορετική γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας λέιζερ σε κάθε περιστροφή. Η ανακλώμενη ακτίνα του λέιζερ που θα καταλήγει πάνω στο δείγμα θα επιστέφεται στην φωτοδίοδο, η οποία θα μεταβάλετε από το μέρος την φωτεινότητας που θα δέχεται. Οι τιμές της θα απεικονίζονται πάνω σε μια LCD οθόνη.

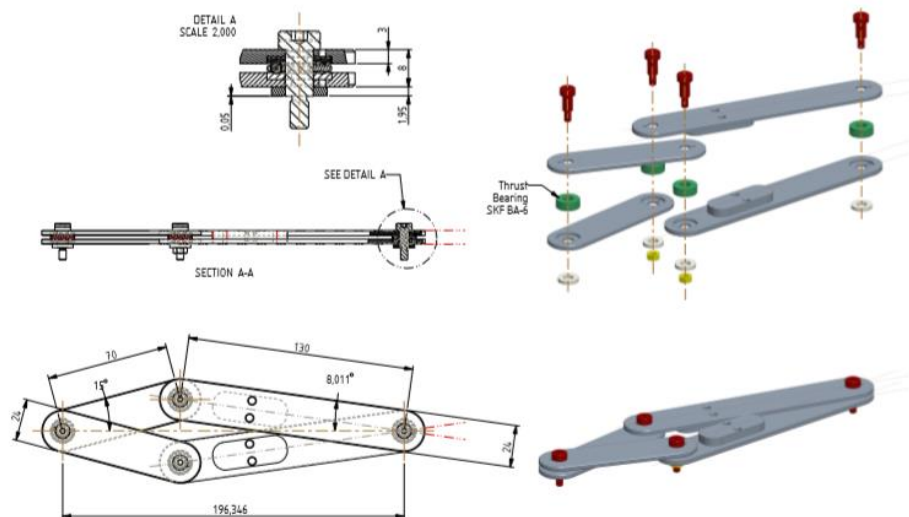
Το κάθε υλικό έχει έναν δείκτη διάθλασης, ο οποίος είναι και μοναδικός. Έτσι η λειτουργία που επιθυμούμε να γίνεται με την χρήση της διάταξης αυτής, είναι βρίσκουμε την γωνία πρόσπτωσης Brewster, με την οποία θα επαληθεύεται ο δείκτης διάθλασης των δειγμάτων που θα εξετάζουμε κάθε φορά, για να εντοπιστεί από τι υλικό προέρχεται η κατασκευή τους.

2.2 Αρχική ιδέα- μελέτη διάταξης

Πριν παρθεί η απόφαση της τελικής μορφής που θα έχει η διάταξη μας έγιναν διάφορες δοκιμές. Μια από αυτές ήταν να πραγματοποιηθεί άνιση κατασκευή των συνδέσμων, όπως φαίνεται στην εικόνα 21 που ακολουθεί.

Στην παρακάτω διάταξη χρησιμοποιήθηκε ασυμμετρία στους συνδέσμους, οι οποίοι έχουν διαστάσεις 94mm οι δύο μπροστινοί και 154mm οι άλλοι δύο αντίστοιχα, με δυνατότητα να «μπαίνουν» ο ένας μέσα στον άλλον. Με τους ασύμμετρους συνδέσμους το εύρος γωνίας περιορίζεται από min 8° σε max 32° ανά πλευρά. Η ευθύγραμμη διαδρομή είναι:

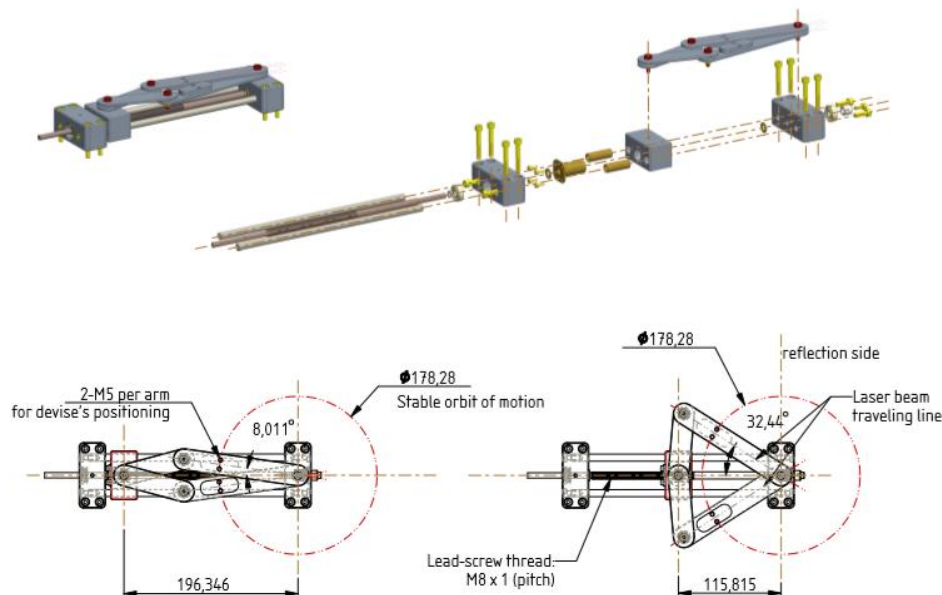
$$196,346-115,815 = 80,531\text{mm}$$



Εικόνα 21: Η διάταξη με άνισους συνδέσμους και τα επιμέρους εξαρτήματα που την απαρτίζουν.

Άρα σε κάθε 1mm ευθύγραμμής κίνησης η γωνία αυξάνεται ή μειώνεται κατά 0,3 της μοίρας. Το σπείρωμα του κοχλία κίνησης είναι M8 με βήμα 1mm. Δηλαδή σε μια περιστροφή του κοχλία, το φορείο μετακινείται 1mm και η γωνία διαφοροποιείται κατά 0,3°.

Το σπείρωμα θα μπορούσε να έχει βήμα είτε 0,75mm είτε 0,5mm. Ανάλογα, η γωνία σε μια περιστροφή του κοχλία θα αλλάζει κατά 0,22° για βήμα 0,75mm και 0,15° για βήμα 0,5mm. Στην εικόνα 22 παρουσιάζεται ολοκληρωμένη η διάταξη με τους άνισους συνδέσμους, την βάση στήριξης, αλλά και τα επιμέρους τμήματα που την συνθέτουν, με την χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος pro-engineer-creo-4.

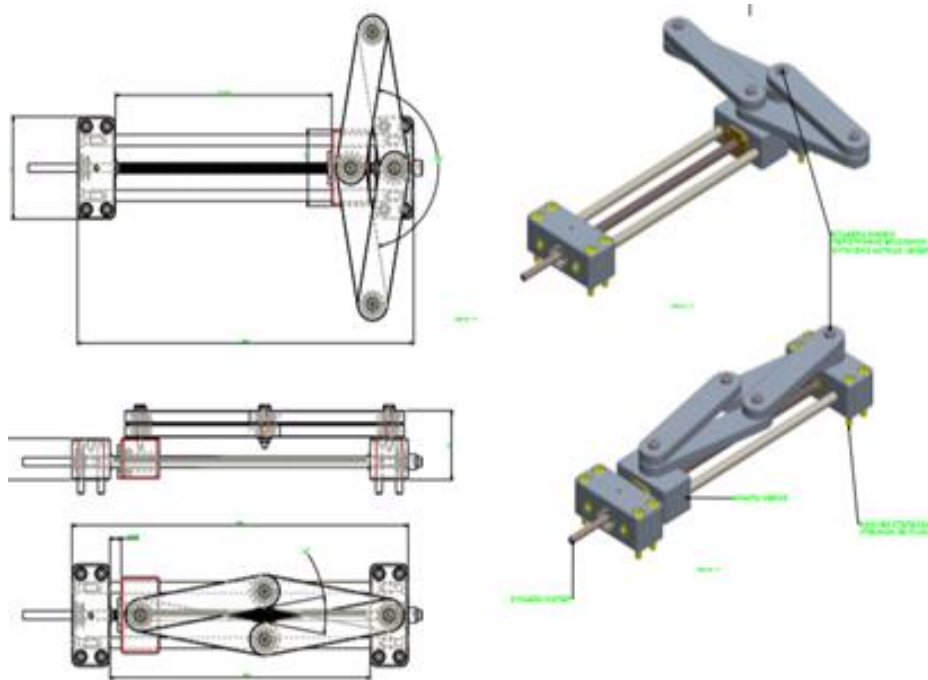


Εικόνα 22: Η αυτοματοποιημένη κινηματική διάταξη σε σχήμα ρόμβου, με άνισους συνδέσμους.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω αυτή η εκδοχή της κατασκευής, περιορίζει την κίνηση. Αυτό συμβαίνει γιατί σε περίπτωση που θα χρειαστεί να ανοίξουν τέρμα οι σύνδεσμοι κοντά στο μοτέρ, οι άλλοι δύο απέναντι θα φτάνουν μέχρι ένα σημείο. Για τον λόγο αυτό κάποια υλικά που έχουν γωνία Brewster πέρα από τον εύρος γωνιών της κατασκευής αυτής, δεν θα μπορούν να εξεταστούν.

Επίσης, μια άρθρωση για να δουλέψει δεν πρέπει το τμήμα που ωθεί ή έλκει να είναι σε γωνία 0° ή 180° , γιατί η άρθρωση «κλειδώνει» και δεν λειτουργεί. Θα πρέπει να υπάρχει μια μικρή εσωτερική γωνία $\sim 5^\circ$ ώστε να ξεκινάει προς την κατεύθυνση που επιδιώκουμε να κινηθεί. Λαμβάνοντας υπόψιν μας τα παραπάνω τους παραπάνω περιορισμούς, δεν πραγματοποιήθηκε η υλοποίηση της κατασκευής αυτής.

Στην συνέχεια η δεύτερη προσπάθεια έγινε χρησιμοποιώντας ίσους συνδέσμους σε σχήμα ρόμβου, όπως φαίνεται στην εικόνα 23.

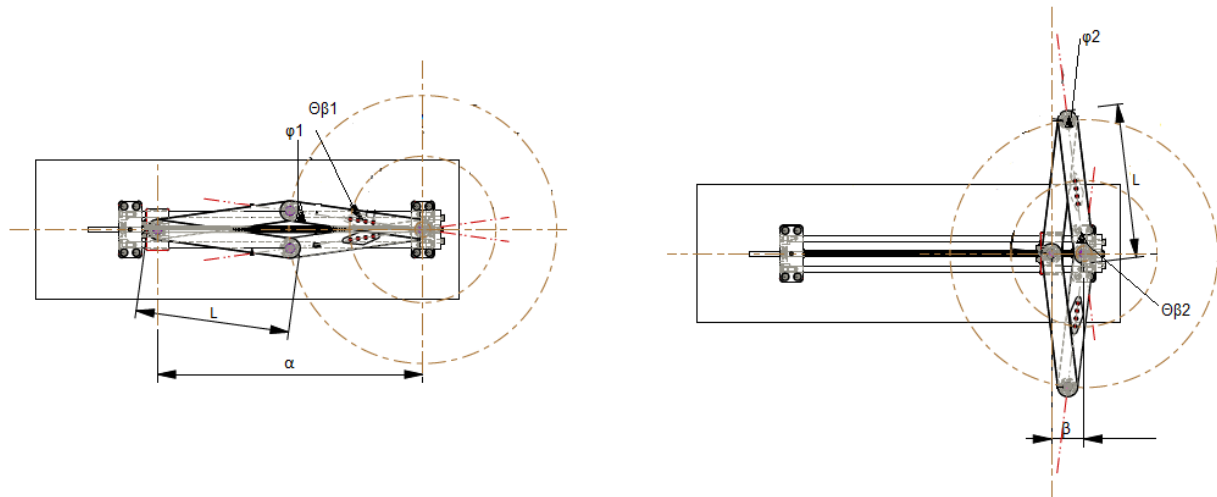


Εικόνα 23: Η τελική εικόνα της αυτοματοποιημένης κινηματικής διάταξης, με ίσους συνδέσμους.

Ένα άλλο σημείο που διαπιστώθηκε προβληματισμός στην κίνηση και την εύρεση της κατάλληλης γωνίας στο εκάστοτε δείγμα είναι πως οι μοίρες με την απόσταση των συνδέσμων πάνω στον κοχλία, δεν είναι ανάλογα ποσά. Στην εικόνα 24 απεικονίζονται οι ευθύγραμμες αποστάσεις από το κέντρο του κύκλου.

Προκειμένου να υπολογιστεί το ολικό μήκος του κοχλία θα εφαρμοστεί ο νόμος των ημιτόνων. Το κάθε υλικό έχει έναν και μοναδικό δείκτη διάθλασης, με τον οποίον αντικαθιστώντας τον τύπο (10), υπολογίζεται η γωνία Brewster. Επιλέγοντας τον μεγαλύτερο και τον μικρότερο δείκτη διάθλασης που αντιστοιχούν στο γερμάνιο με τιμή 4,01-4,05 και τον πάγο με τιμή 1,309, υπολογίζεται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της γωνίας Brewster για τις οποίες θα κινείται η κατασκευή.

Για το γερμάνιο η γωνία Brewster είναι $76,13^\circ$ και για τον πάγο $52,62^\circ$. Στην εικόνα 24 που ακολουθεί η διάσταση α του μήκους του κοχλία είναι όταν είναι τέρμα ανοικτός, ενώ η μεταβλητή β αντιστοιχεί στο μήκος του κοχλία όταν είναι τέρμα κλειστός. Η διαφορά των μεταβλητών α , β υπολογίζει την διαφορά Δx του μήκους του κοχλία.



Εικόνα 24: Το σχέδιο της αυτοματοποιημένης κινηματικής διάταξης, με ίσους συνδέσμους.

Με τον νόμο των ημιτόνων, τύπος (4) υπολογίστηκε η μεταβλητή α είναι 12,2 cm, ενώ η μεταβλητή β έχει την τιμή 4,8cm. Τα παραπάνω υπολογίστηκαν για L ίσο με 10cm. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για αρμό 20cm. Οι τιμές για τις μεταβλητές α , β είναι 24,4cm, 9,6cm αντίστοιχα. Προκειμένου η κατασκευή να είναι αξιόπιστη και να έχει μεγαλύτερη ακρίβεια, επιλέχτηκε η δεύτερη περίπτωση. Επιλέγοντας την θα υπάρξει μια μικρή διαφορά στο κόστος κατασκευής.

$$\frac{\alpha}{\eta\mu\varphi} = \frac{L}{\eta\mu 90} \quad (11)$$

Όπου $\alpha = \frac{\alpha}{2}$, $\beta = \frac{\beta}{2}$ το εκάστοτε μήκος του κοχλία

$$L \text{ μήκος αρμού, } L = \frac{\Delta x}{2 * (\eta\mu\varphi_1 - \eta\mu\varphi_2)}$$

φ η γωνία προκύπτει ($180 = \Theta_\beta + 90^\circ + \varphi$)

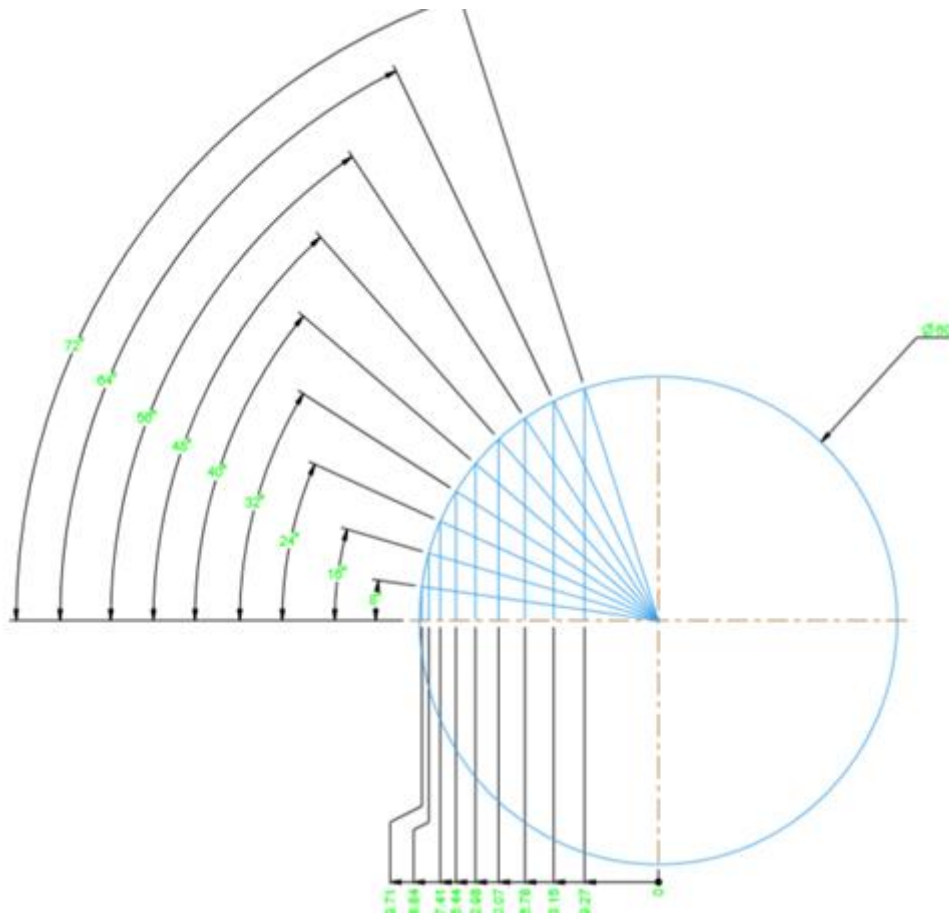
Η διαφορά Δx των μεταβλητών α , β υπολογίστηκε με τον παρακάτω τύπο (6). Για την περίπτωση που οι σύνδεσμοι έχουν διάσταση 10cm το Δx υπολογίστηκε στα 7,4cm, ενώ στην δεύτερη με μήκος συνδέσμου ίσο με 20cm η τιμή του Δx είναι 14,8cm.

$$\Delta x = \alpha - \beta \quad (12)$$

Όπου $\alpha = L * 2 * \eta\mu\varphi_1$

$$\beta = L * 2 * \eta\mu\varphi_2$$

Η διάταξη δεν έχει την δυνατότητα να φτάνει στα τερματικά της σημεία. Για να μην υπάρξει ένα είδος προστασίας η κίνηση των αρμών σταματάει 1,5cm και στις δυο πλευρές πριν τερματίσει. Εξαιτίας του παραπάνω περιορισμού θα πρέπει να υπολογισθούν και 3cm συνολικά στο τελικό εύρος του μήκους του κοχλία. Έτσι, για την δεύτερη περίπτωση, όπου οι σύνδεσμοι έχουν διάσταση των 20cm, και η τιμή της μεταβλητής α είναι 24,4cm θα προστεθούν και τα 3cm. Άρα, το μήκος του κοχλία που θα επιτρέπει η κίνηση θα είναι 27,4cm. Οπότε, το τελικό μήκος του κοχλία θα είναι 30cm για να υπάρχει και ένα περιθώριο, για τυχόν μετατροπές της, και το μήκος του κάθε συνδέσμου θα είναι 20cm, με σκοπό να υπάρξει μεγαλύτερη ακρίβεια.

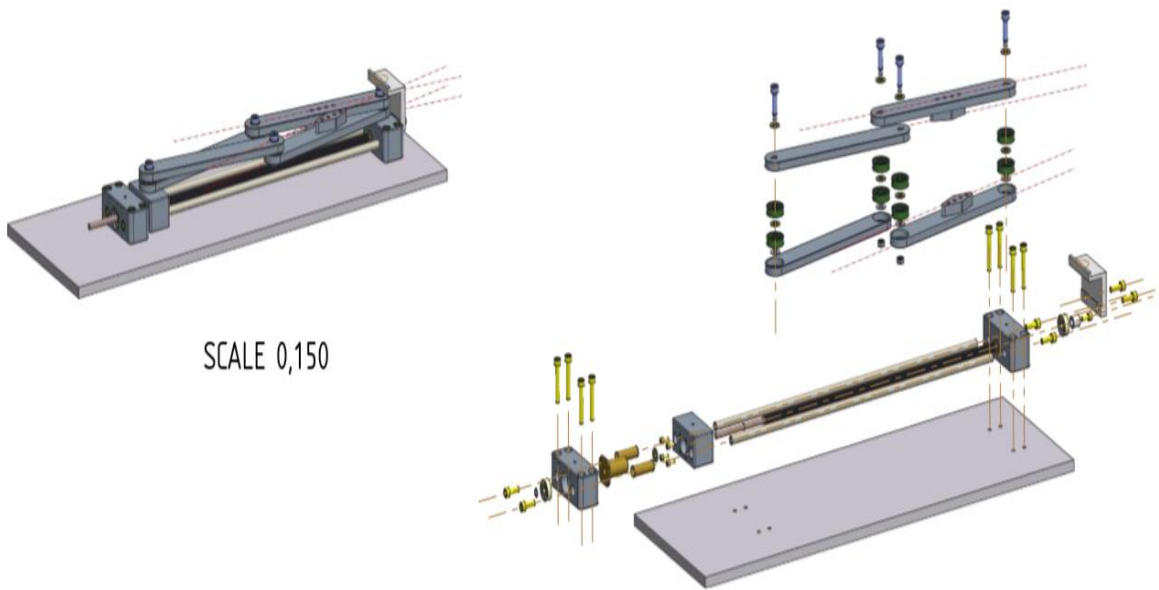


Εικόνα 25: Αναλογία ανάμεσα στα ευθύγραμμα τμήματα του προκύπτουν σε σχέση με το βήμα των 8°.

Όπως παρατηρείται δεν υπάρχει αναλογία ανάμεσα στα ευθύγραμμα τμήματα του προκύπτουν σε σχέση με το βήμα των 8°. Οπότε ανάλογα με την επιθυμητή γωνία στην κάθε περίπτωση προκύπτει και το αντίστοιχο ευθύγραμμο τμήμα.

2.3 Υλοποίηση αυτοματοποιημένη κινηματική διάταξης- ιδιοκατασκευή

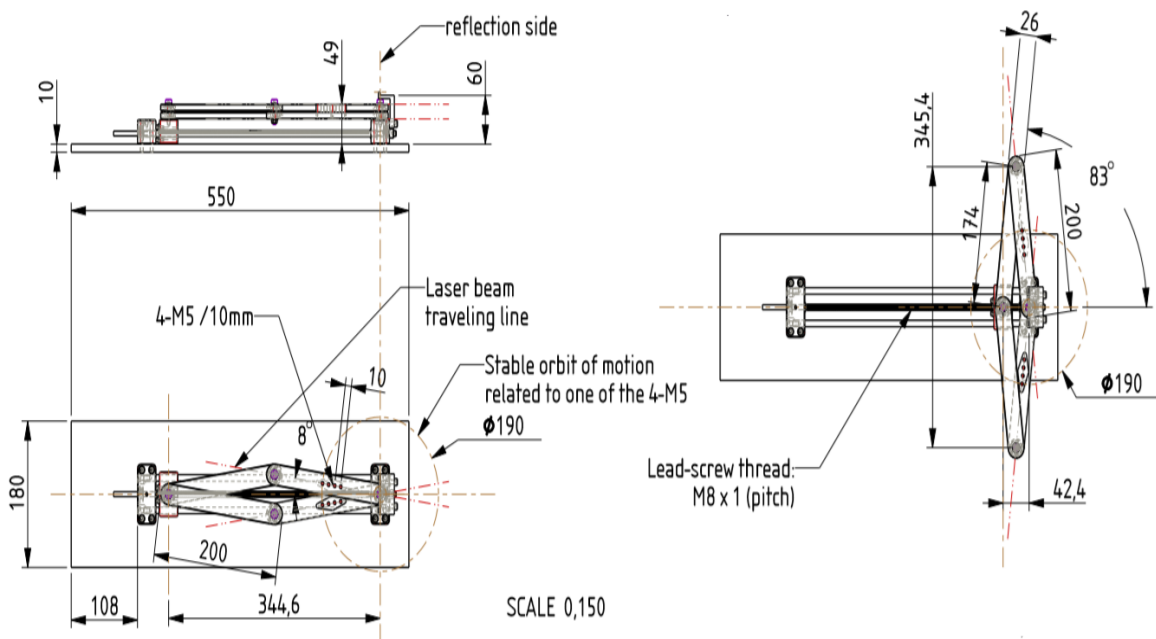
Μια από τις δοκιμές υλοποίησης της κατασκευής για την εξαγωγή πειραμάτων φαίνονται στην εικόνα 26. Επίσης σε αυτήν παρουσιάζονται και μέρη των εξαρτημάτων που την απαρτίζουν. Όπως διακρίνει κάποιος τα εξαρτήματα της αυτοματοποιημένης κινηματικής διάταξης είναι η βάση στήριξης, οι τέσσερις σύνδεσμοι που θα ενώνονται μεταξύ τους με τις αρθρώσεις. Οι αρθρώσεις είναι φτιαγμένες με βίδες και ρουλεμάν για να διευκολύνεται η κίνησή τους. Οι σύνδεσμοι εφάπτονται πάνω σε δυο ορθογώνια κομμάτια στήριξης, το ένα κινητό και το άλλο σταθερό, και συνδέονται μεταξύ τους μέσω του κοχλίας. Ο κοχλίας περιστρέφεται με την εντολή του μοτέρ με αποτέλεσμα να δίνει κίνηση στο κινητό κομμάτι της κατασκευής. Το λείζερ και η αντανακλαστική συσκευή είναι απέναντι τοποθετημένες πάνω στους δύο συνδέσμου που ενώνονται με το σταθερό μέρος. Με τον τρόπο αυτό οι δυο από τους τέσσερις συνδέσμους κινούνται και η γωνία τους αλλάζει κάθε φορά. Με την διαδικασία που έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω εντοπίζεται η γωνία Brewster και κατά συνέπεια ο δείκτης διάθλασης του εκάστοτε δείγματος. Βρίσκοντας αυτά ο εντοπισμός του υλικού είναι η τελευταία πράξη.



SCALE 0,150

Εικόνα 26: Σχέδιο διάταξης ιδιοκατασκευής.

Το ολικό μήκος της βάσης της κατασκευής μας θα είναι 550mm και το πάχος 10 mm. Το μήκος του κοχλία που συνδέει τα δύο ορθογώνια τμήματα της διάταξης είναι 344,6mm με 4-M5. Η διάσταση του κάθε συνδέσμου είναι 200mm με πάχος 26mm. Το εύρος των γωνιών θα είναι από 8° μέχρι 83° σε κάθε πλευρά. Τα χαρακτηριστικά αυτά παρουσιάζονται αναλυτικότερα στην εικόνα 27 που ακολουθεί.



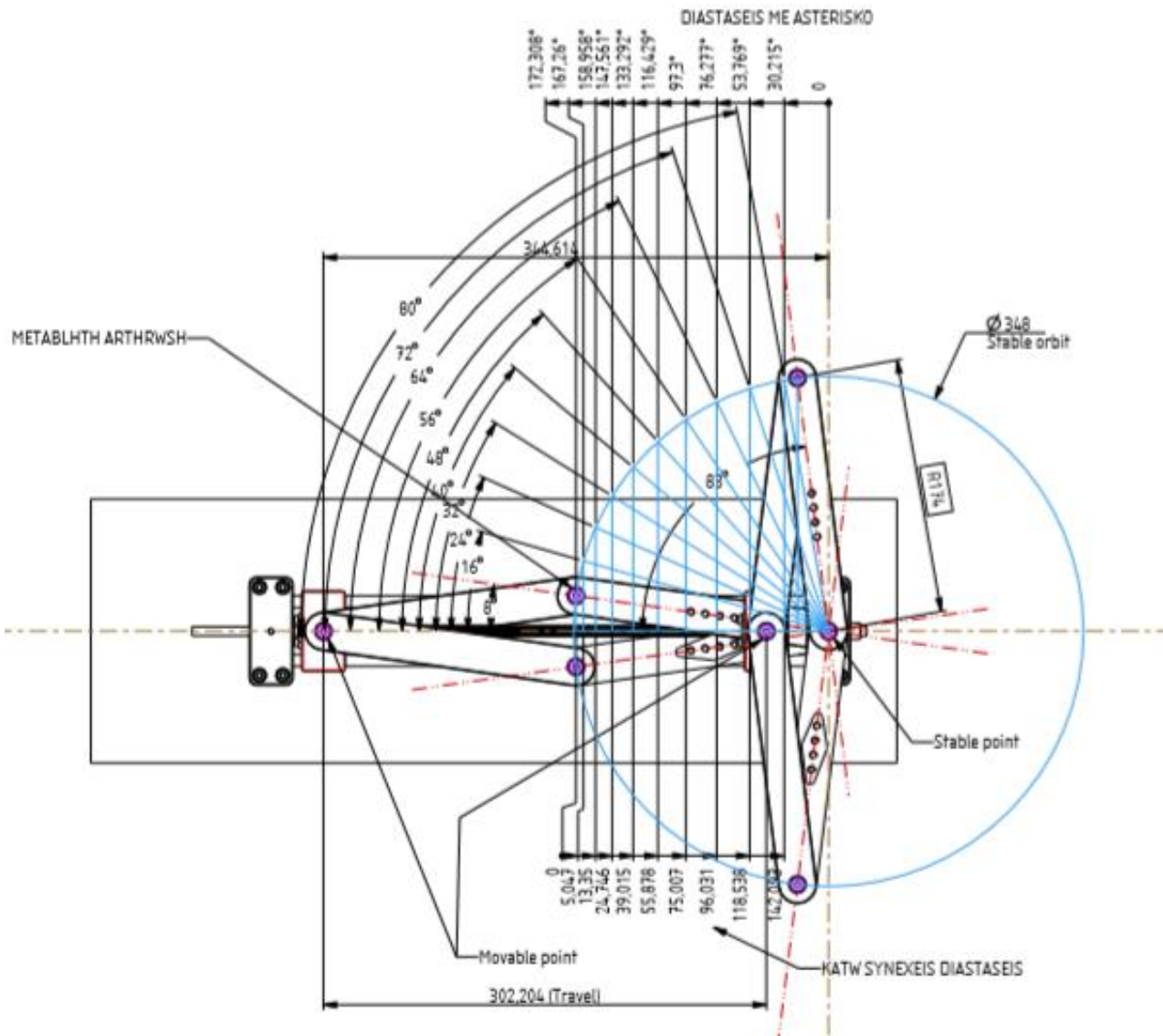
SCALE 0,150

Εικόνα 27: Τεχνικά χαρακτηριστικά που απαρτίζουν την ιδιοκατασκευή.

Πιο αναλυτικά έχουμε δυο φορεία, το ένα θα είναι το σταθερό όπου στο κέντρο του θα στηριχτεί η βάση για την τοποθέτηση του δείγματος και το κινητό, σε αρχική μεταξύ τους απόσταση 344,614mm. Η διαδρομή του κινητού φορείου από το σημείο της γωνίας των 8° μέχρι της γωνίας των 83° είναι 302,204mm.

Η σταθερή τροχιά κίνησής της άρθρωσης είναι $\Phi 348$, άρα R174mm. Η γωνία στον υπολογισμό αυξάνεται υποθετικά ανά 8°. Όταν είναι στις 8° τότε έχουμε και το μηδέν του κινητού μας σημείου (συνεχείς distάνσεις στο

κάτω μέρος του σχεδίου). Πηγαίνοντας στις 16° το φορείο κινείται στα 5,047mm. Στις 24° το φορείο κινείται στα 13,35mm, και ούτω καθ' εξής, όπως απεικονίζονται στην εικόνα 28.



Εικόνα 28: Αντιστοιχία ευθύγραμμης διαδρομής με τις γωνίες.

Στο πάνω μέρος του σχεδίου υπάρχει η άλλη σειρά με τις συνεχείς διαστάσεις (με αστερίσκο) που ξεκινάνε από το σταθερό σημείο (στο σταθερό φορείο) - (φαίνονται στο σχέδιο). Η διάσταση 172,308mm προκύπτει από την ακτίνα 174mm επί το συνημίτονο (cos) των 8°. Αντίστοιχα η διάσταση 167,26mm προκύπτει από την ακτίνα 174mm επί το συνημίτονο (cos) των 16°. Η επιβεβαίωση έρχεται από την αφαίρεση 172,308-167,26=5,048mm. Το σημείο που έχουμε μηδενίσει στο κάτω μέρος του σχεδίου, όταν η μεταβλητή άρθρωση είναι στις 8°, αντιστοιχεί με την διάσταση 172,308 στο άνω μέρος του σχεδίου.

Έτσι π.χ. σε γωνιά 25°, τότε η οριζόντια απόσταση από το σταθερό σημείο θα είναι:

$$174 \times \cos 25^\circ = 157,697\text{mm}$$

ή από το σημείο που έχουμε μηδενίσει, θα πρέπει να μετακινηθεί:

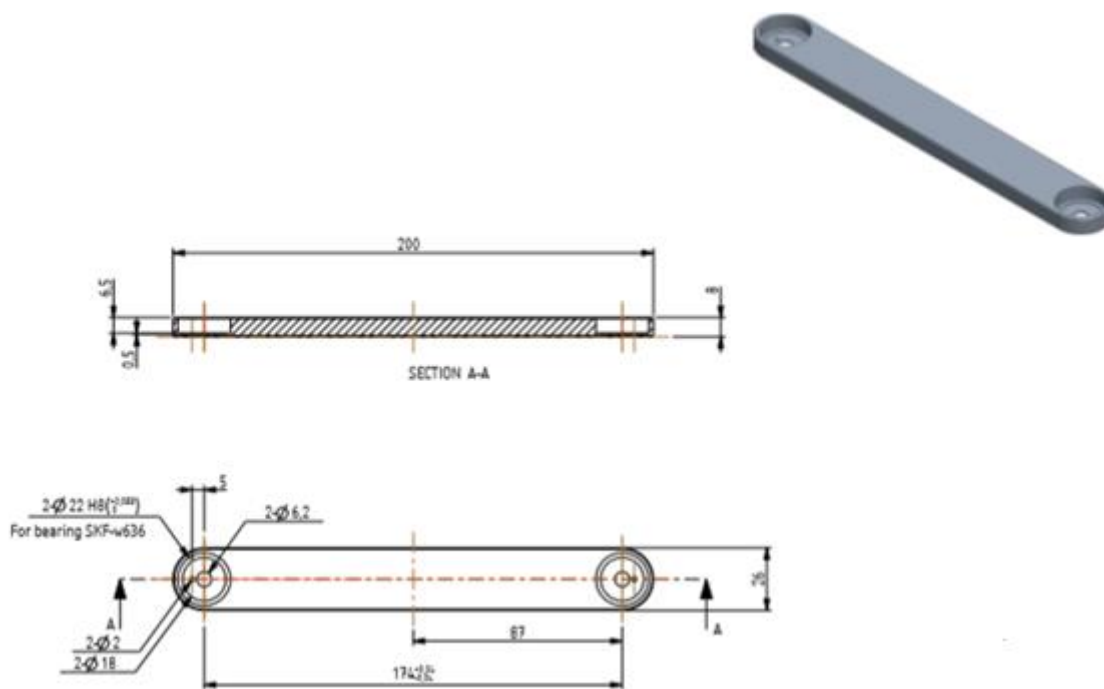
$$172,308 - 157,697 = 14,610\text{mm.}$$

2.4 Μέρη κατασκευής ιδιοκατασκευής

Στην συνέχεια αναφέρονται αναλυτικά τα εξαρτήματα, από τα οποία δημιουργήθηκε η αυτοματοποιημένη κινηματική διάταξη. Τα υλικά από τα οποία αποτελούνται καθώς και τις διαστάσεις τους.

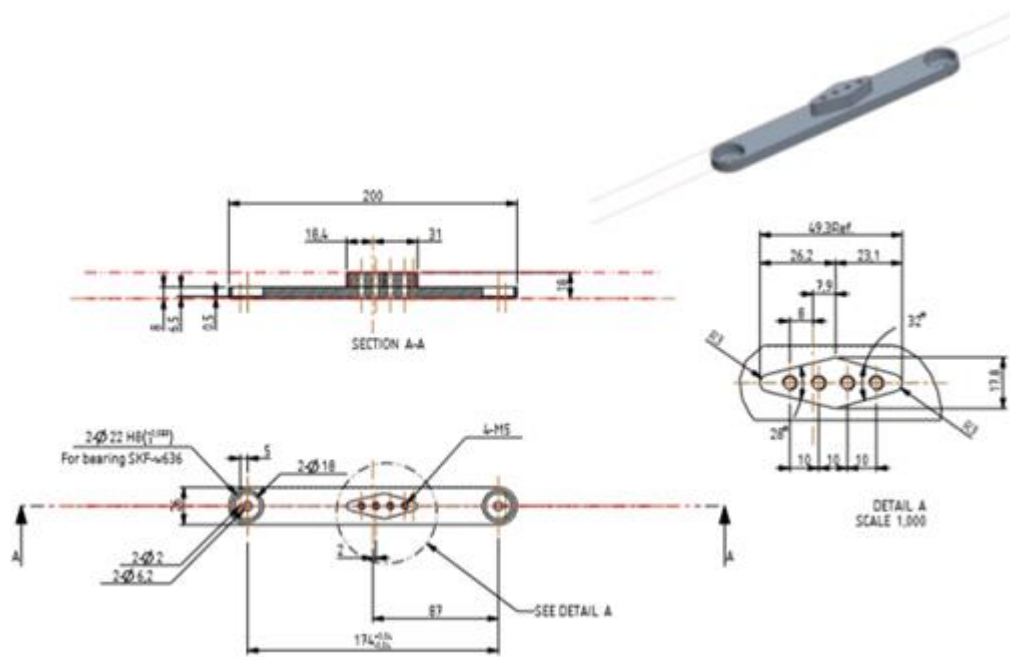
2.4.1 Αρμοί

Οι σύνδεσμοί μας, αλλιώς αρμοί επιλέχτηκαν να είναι από κομμάτια αλουμινίου. Αυτό διότι τα κομμάτια αλουμινίου είναι ελαφριά και κενά από το εσωτερικό τους σημείο και πολύ αναθετικά. Το γεγονός αυτό βοηθάει στο να γίνει η κατασκευή μας στέρεη και χωρίς κάποιο ιδιαίτερο βάρος που θα εμποδίζει την κίνηση τους εξαιτίας της τριβής. Ο ένας σύνδεσμος μπαίνει μέσα στον άλλον και είναι διαστάσεων 200mm με 26mm. Οι σύνδεσμοι στηρίζονται με τις αρθρώσεις, για τον λόγο αυτό στις άκρες τους υπάρχουν διαμπερής τρύπες στις οποίες είναι τοποθετημένες βίδες και ρουλεμάν με διαμέτρου 22 και 6,2mm αντίστοιχα. Η απόσταση ανάμεσα στα δύο κέντρα των αρθρώσεων είναι 174mm με ανοχή 0,04. Ο σύνδεσμός της εικόνας 29 είναι στερεωμένος με το κινητό ορθογώνιο κομμάτι της κατασκευής.



Εικόνα 29: Τεχνικά χαρακτηριστικά συνδέσμου κινητού τμήματος.

Στην εικόνα 30 φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συνδέσμου που βρίσκεται επαπτόμενος στο σταθερό σημείο της διάταξης. Η διαφορά με τους συνδέσμους που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι πως σε ένα τμήμα του έχει τοποθετηθεί ένα επιπλέον κομμάτι διάστασης μήκους 49,3mm και πλάτους 17,8mm, το οποίο ανά 10mm έχει υποδοχή 4-M5, για να τοποθετηθεί το λείζερ και η ανακλαστική συσκευή.



Εικόνα 30: Τεχνικά χαρακτηριστικά συνδέσμου σταθερού τμήματος.

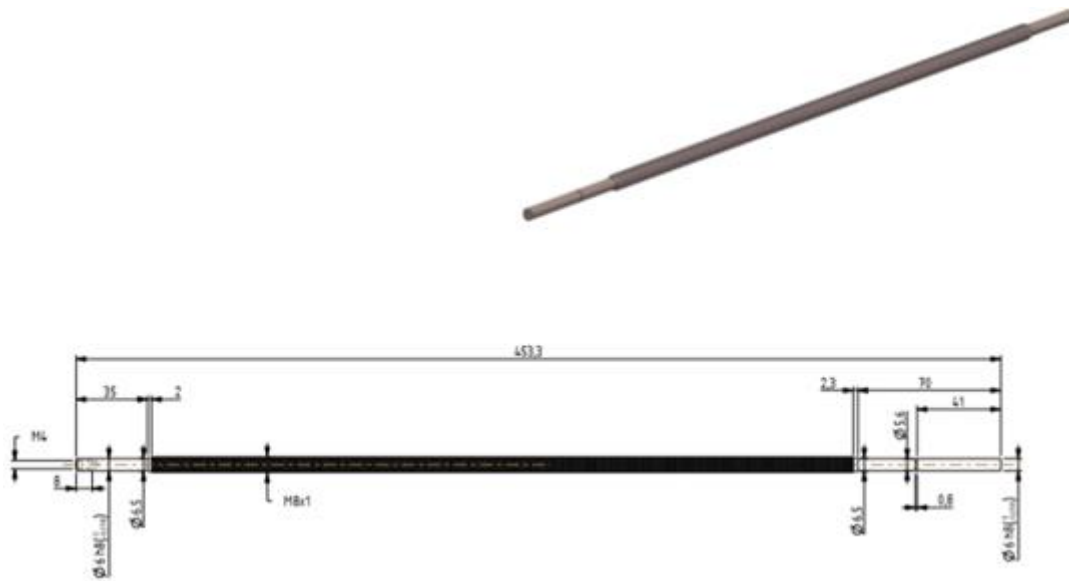
2.4.2 Κοχλίας και μεταλλικοί ράβδοι

Ο κοχλίας θα αποτελείται από μέταλλο για να είναι ανθεκτικό για την κίνηση που θα πρέπει να πραγματοποιεί. Το μήκος του θα είναι 453,3mm ενώ η διάμετρος του θα είναι 6,5mm στα δυο ακριανά τμήματά του μήκος 70mm και 35mm, αντίστοιχα. Το υπόλοιπο τμήμα του, θα είναι διάσταση M8 με βήμα 1. Αυτό επιλέχτηκε με σκοπό την πολύ μικρή κίνηση που θέλουμε να πραγματοποιούν οι σύνδεσμοι κινούμενοι από το μοτέρ. Στην εικόνα 31 παρουσιάζονται τα παραπάνω τεχνικά χαρακτηριστικά του κοχλία.

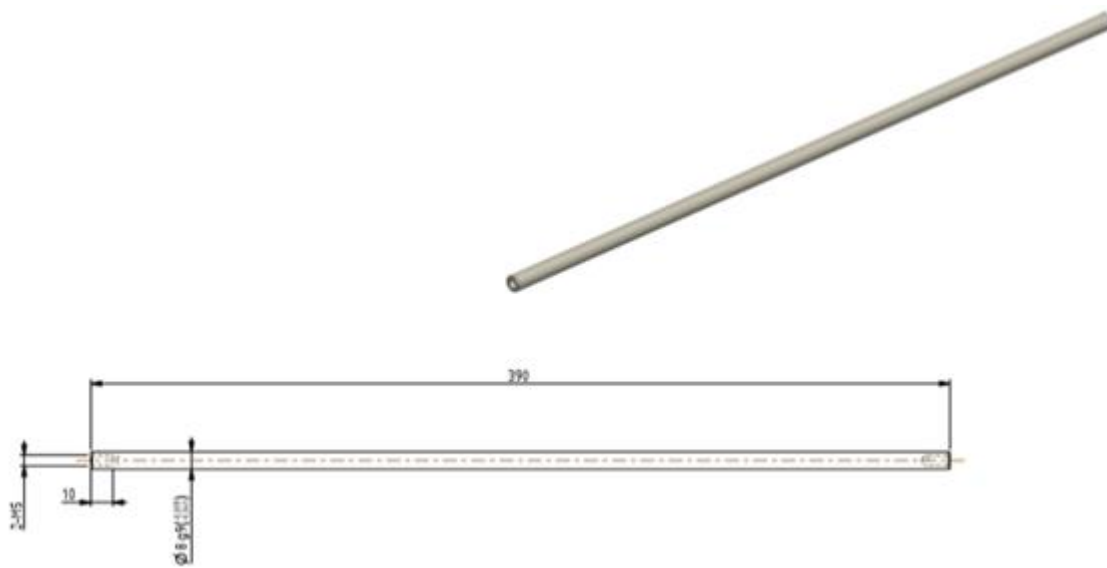
Στο πλαϊνό μέρος του κοχλία, δεξιά και αριστερά θα υπάρχουν δυο μεταλλικά κομμάτια μήκους 390mm και με διάμετρο 8mm. Η σημασία τους είναι μεγάλη για την διάταξη καθώς αποτελούν τρόπο στήριξης και ένωσης των δυο ορθογώνιων τμημάτων της προφέροντάς την μεγαλύτερη ισορροπία. Στην εικόνα 32 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταλλική ράβδος και τα τεχνικά της χαρακτηριστικά.

Τα προαναφερθέντα τμήματα της κατασκευής θα στηρίζονται σε δυο ορθογώνια τμήματα μεταλλικά κομμάτια ειδικά κατασκευασμένα για να είναι διαμπερές για την υποδοχή του κοχλία και των δυο μεταλλικών ράβδων, διαστάσεων 55mm με 29mm. Στην εικόνα 33 απεικονίζεται ένα από τα δύο ορθογώνια μεταλλικά κομμάτια που αφορούν την στήριξη των κινητών τμημάτων της κατασκευής. Ο αριθμός των κομματιών για την σύνθεση της διάταξης θα είναι μονός αριθμός.

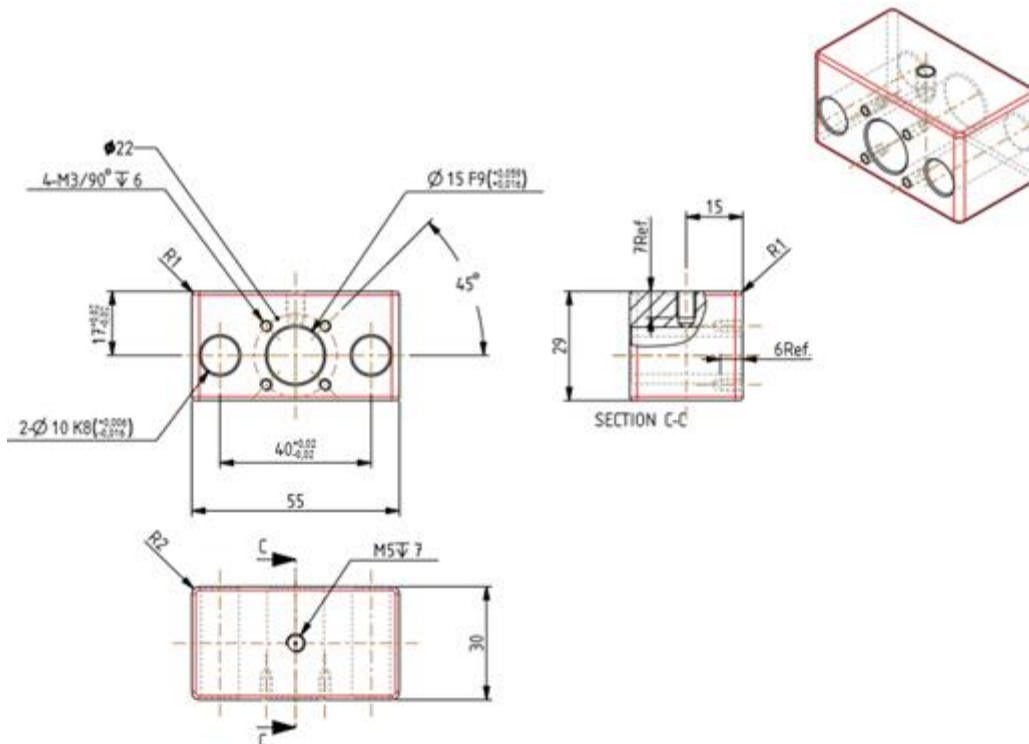
Τέλος, στην εικόνα 34 φαίνεται το ορθογώνιο μεταλλικό κομμάτι της κατασκευής που η χρήση του επικεντρώνεται στο σταθερό μέρος της. Οι διαστάσεις του είναι 75mm με 30mm και όπως μπορεί κάποιος να διακρίνει το κομμάτι αυτό είναι διαμπερές από όλες τις πλευρές του. Αυτό λαμβάνει χώρα καθώς πέρα από την υποδοχή του κοχλία και των μεταλλικών ράβδων θα πρέπει να υπάρχει υποδοχή και για την στήριξή τους στην βάση της κατασκευής μας. Ο αριθμών των κομματιών αυτών θα είναι στο σύνολο δυο.



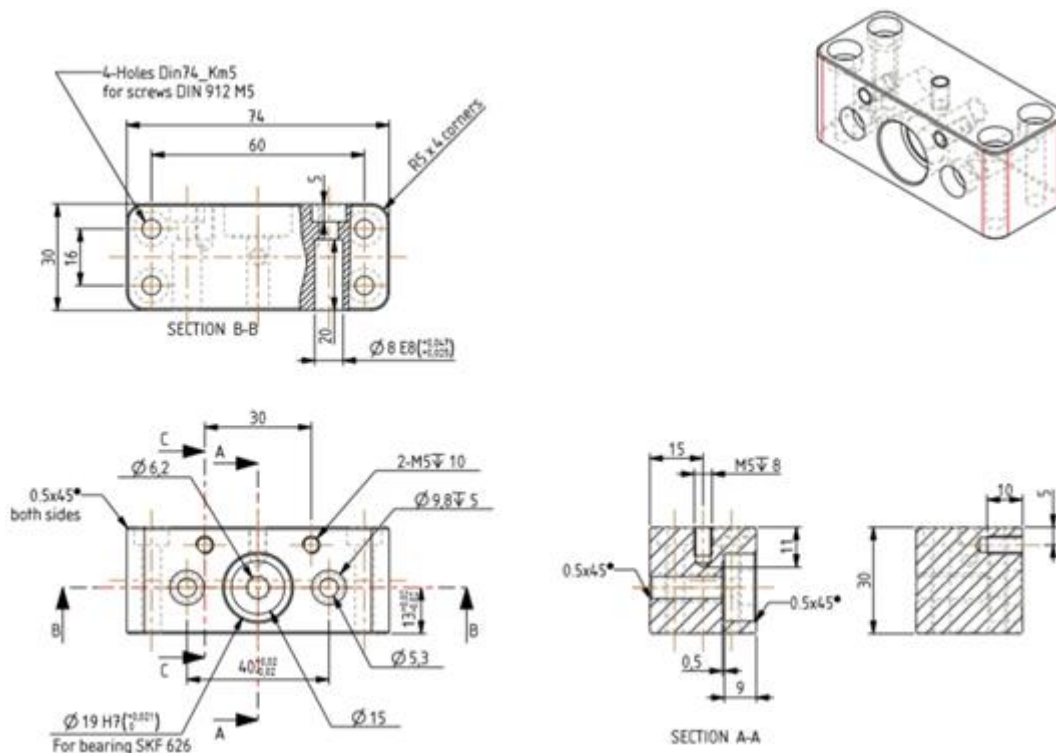
Εικόνα 31: Τεχνικά χαρακτηριστικά κοχλία.



Εικόνα 32: Τεχνικά χαρακτηριστικά βοηθητικών μεταλλικών ράβδων.

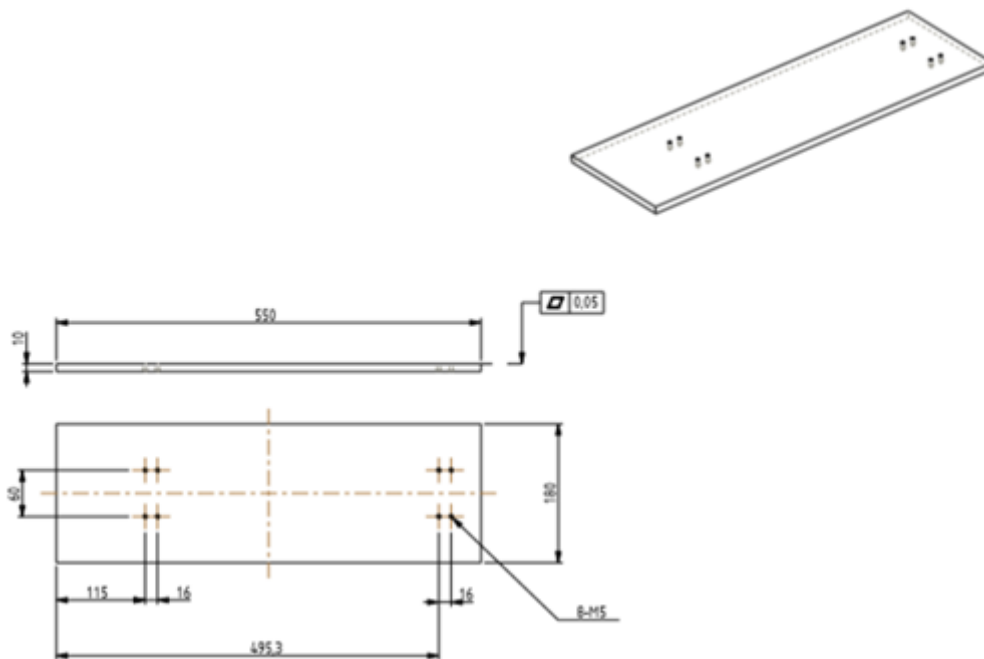


Εικόνα 33: Τεχνικά χαρακτηριστικά ορθογώνιων μεταλλικών τμημάτων κατασκευής για τα κινητά τμήματα.



Εικόνα 34: Τεχνικά χαρακτηριστικά ορθογώνιων μεταλλικών τμημάτων κατασκευής για τα σταθερά τμήματα.

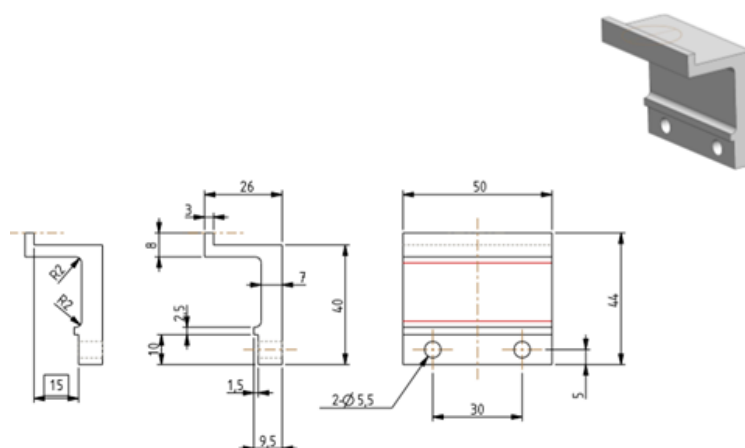
Η βάση της διάταξης μας που θα τοποθετηθούν όσο αναφέρθηκαν παραπάνω παρουσιάζεται στην εικόνα 35. Η βάση θα έχει ορθογώνιο σχήμα και θα είναι από ξύλο. Οι διαστάσεις της θα είναι 550mm με 10mm.



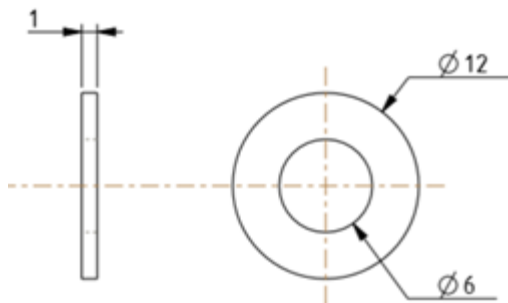
Εικόνα 35: Τεχνικά χαρακτηριστικά ορθογώνιας βάσης στήριξης κατασκευής.

Στην συνέχεια απεικονίζεται το μεταλλικό τμήμα της διάταξης πάνω στο οποίο θα τοποθετούμε το εκάστοτε δείγμα, για την αναγνώρισή του υλικού του. Οι διαστάσεις τους είναι 50mm με 44mm. Στο κάτω μέρος του θα υπάρχουν δύο τρύπες διαμέτρου 5,5mm με σκοπό την στήριξη της πάνω στην ορθογώνιο μεταλλικό κομμάτι των σταθερών τμημάτων. Η εικόνα 37 περιέχει αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά της βάσης.

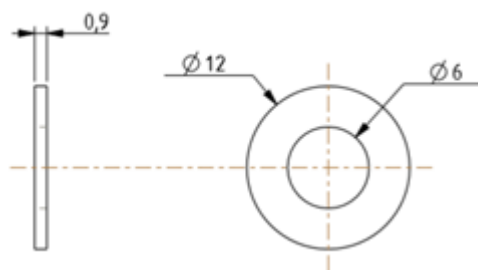
Στις εικόνες που θα ακολουθήσουν παρουσιάζονται επιμέρους τμήματα της κατασκευής. Τα κομμάτια αυτά βοηθούν την ένωση των τμημάτων που έχουμε ήδη αναφέρει παραπάνω και τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο για την καλή λειτουργία της διάταξης. Πρόκειται λοιπόν για δυο διαφορετικά είδη ροδελών, ένα πολλαπλασιαστή, ένα βοήθημα οδήγησης βιδών και τέλος έναν κύλινδρο διασύνδεσης. Τα παραπάνω απεικονίζονται στις εικόνες 38, 39, 40, 41, 42, αντίστοιχα.



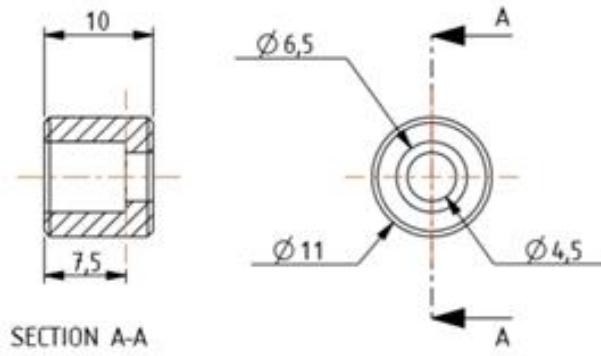
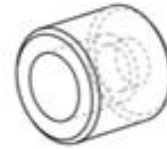
Εικόνα 37: Τεχνικά χαρακτηριστικά βάσης για την τοποθέτηση των δειγμάτων.



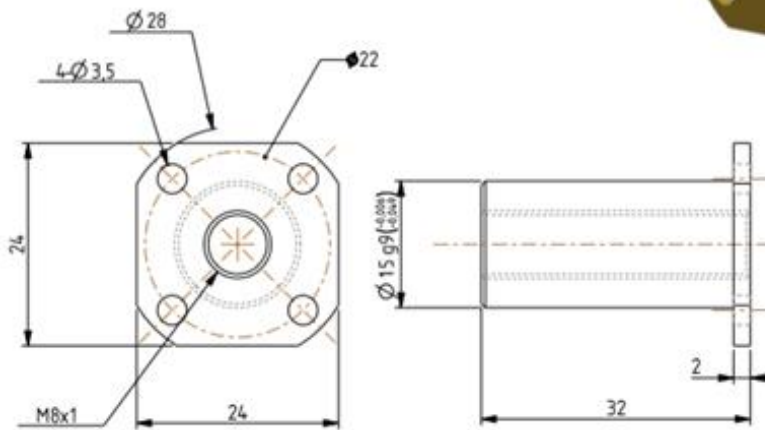
Εικόνα 38: Τεχνικά χαρακτηριστικά πρώτου είδους ροδέλας.



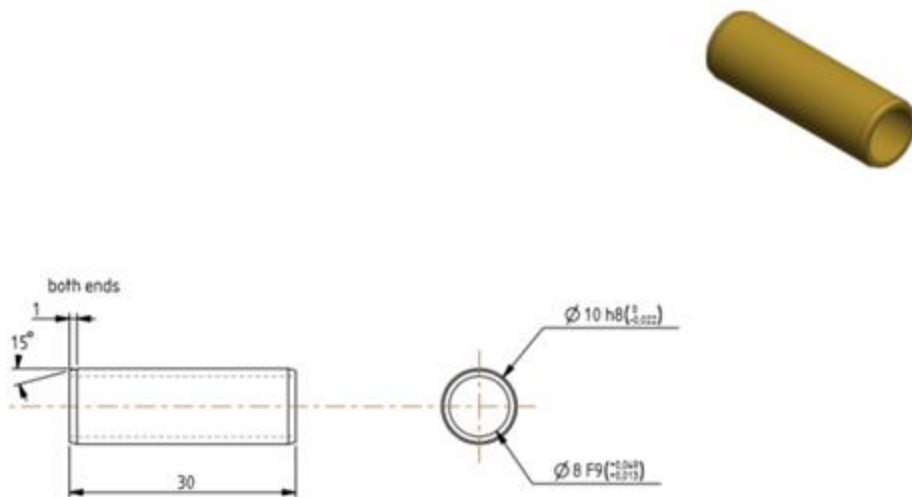
Εικόνα 39: Τεχνικά χαρακτηριστικά δευτέρου είδους ροδέλας.



Εικόνα 40: Τεχνικά χαρακτηριστικά πολλαπλασιαστή.



Εικόνα 41: Τεχνικά χαρακτηριστικά βοήθημα οδήγησης βιδών.



Εικόνα 42: Τεχνικά χαρακτηριστικά κυλίνδρου διασύνδεσης.

Με τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν διαπιστώθηκε πως η ακρίβεια που έπρεπε να υπάρχει για να προκύψουν οι σωστές γωνίες με ακρίβεια δυο δεκαδικών ψηφίων δεν ήταν η επιθυμητή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η κίνηση των αρθρώσεων πάνω στο κοχλία γινόταν χειροκίνητα και το βήμα του κοχλία ήταν αρκετά μεγάλο. Ως απόρροια, όσο και να περιστρέφονταν οι αρθρώσεις και κατ' επέκταση το λέιζερ πάνω τους με σκοπό την εύρεση των γωνιών Brewster για δείγματα τα οποία ήταν φτιαγμένα από παρόμοιο υλικό η ακρίβεια που χρειαζόταν ήταν τόσο μεγάλη καθώς άλλαζε μόνο κάποιο δεκαδικό της γωνίας, οπότε δεν μπορούσε να επιτευχθεί με την παρούσα κατασκευή. Επιπλέον, η βάση που στήριζε την κατασκευή ήταν σε οριζόντια θέση με αποτέλεσμα να υπάρχουν τριβές που ήταν υπεύθυνες για τα μη έγκυρα αποτέλεσμα λόγω της έλλειψης ακρίβειας.

2.4.3 Φωτοδίοδος

Μια φωτοδίοδος είναι μια συσκευή ημιαγωγών με σύνδεση P-N που μετατρέπει τα φωτόνια (ή το φως) σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η στιβάδα P έχει μια αφθονία οπών (θετική), και η στιβάδα N έχει μια αφθονία ηλεκτρονίων (αρνητικά). Οι φωτοδιόδοι μπορούν να κατασκευαστούν από μια ποικιλία υλικών, συμπεριλαμβανομένων, ενδεικτικά, πυριτίου, γερμανίου και αρσενιούχου γαλλίου. Κάθε υλικό χρησιμοποιεί διαφορετικές ιδιότητες για οφέλη κόστους, αυξημένη ευαισθησία, εύρος μήκους κύματος, χαμηλά επίπεδα θορύβου ή ακόμα και ταχύτητα απόκρισης.

Ένα φωτόνιο μπορεί να χτυπήσει ένα άτομο μέσα στη συσκευή και να απελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο εάν το φωτόνιο έχει αρκετή ενέργεια. Αυτό δημιουργεί ένα ζεύγος ηλεκτρονίων-οπών (e⁻ και h⁺) όπου μια οπή είναι απλώς ένας «κενός χώρος» για ένα ηλεκτρόνιο. Εάν τα φωτόνια απορροφηθούν είτε στη στιβάδα P είτε στο N, τα ζεύγη οπών ηλεκτρονίων θα ανασυνδυαστούν στα υλικά ως θερμότητα εάν είναι αρκετά μακριά (τουλάχιστον ένα μήκος διάχυσης) από την περιοχή εξάντλησης. Τα φωτόνια που απορροφούνται στην περιοχή εξάντλησης (ή κοντά σε αυτήν) θα δημιουργήσουν ζεύγη οπών ηλεκτρονίων που θα μετακινηθούν σε αντίθετα άκρα λόγω του ηλεκτρικού πεδίου. Τα ηλεκτρόνια θα κινηθούν προς το θετικό δυναμικό στην Κάθοδο και οι οπές θα

κινηθούν προς το αρνητικό δυναμικό της Ανόδου. Αυτοί οι κινούμενοι φορείς φορτίου σχηματίζουν το ρεύμα (φωτορεύμα) στη φωτοδίοδο.^[13]

Η περιοχή εξάντλησης δημιουργεί μια χωρητικότητα στη φωτοδίοδο όπου τα όρια της περιοχής λειτουργούν ως πλάκες ενός πυκνωτή παράλληλης πλάκας. Η χωρητικότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη με το πλάτος της περιοχής εξάντλησης. Η αντίστροφη τάση πόλωσης επηρεάζει επίσης την χωρητικότητα της περιοχής. Στην εικόνα 43 φαίνεται η φωτοδίοδος που έχει χρησιμοποιηθεί στην διάταξη.



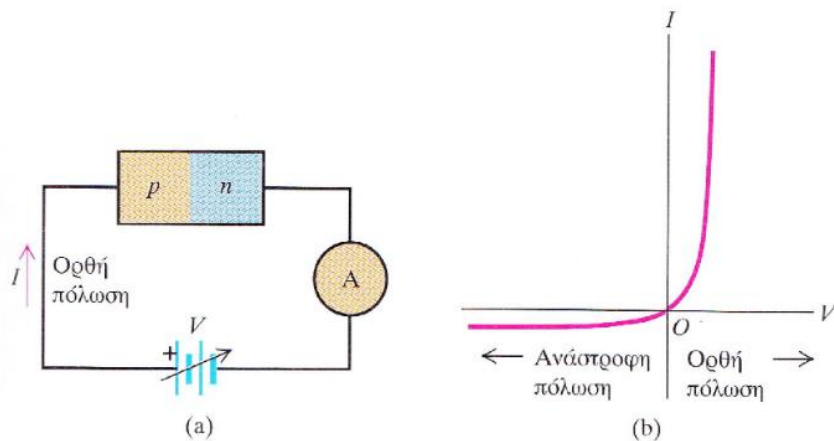
Εικόνα 43: Η φωτοδίοδος που χρησιμοποιήθηκε.

Κατασκευαστής VISHAY

Φωτοανιχνευτής	τύπου PIN IR φωτοδίοδος
Μήκος κύματος ευαισθησίας κορυφής	900nm
Μήκος κύματος	430-1000nm
Ενεργή περιοχή	7,5mm ²
Τοποθέτηση	THT
Οπτική ισχύς	215mW
Διαστάσεις	5,4 x 4,3 x 3,2 mm
Γωνία θέασης	65°

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοδίοδου.

Στην περίπτωση που συνδεθεί η περιοχή p με έναν θετικό πόλο μιας πηγής και η περιοχή n έναν αρνητικό, προκύπτει ορθή πόλωση. Με την σύνδεση αυτή η ένταση που εφαρμόζεται από το εξωτερικό πεδίο έχει ως αποτέλεσμα οι οπές να υπερνικήσουν το αντίθετο ηλεκτρικό πεδίο που υπάρχει στο στρώμα απογύμνωσης και να ρέουν από την περιοχή p στην περιοχή n (το αντίθετο ισχύει για τα ηλεκτρόνια). Με την παραπάνω διαδικασία επιτυγχάνεται αύξηση του ρεύμα διάχυσης, αλλά και αύξηση της τάσης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 44. Στο ρεύμα ολίσθησης δεν παρατηρείται κάποια αλλαγή καθώς εξαρτάται αποκλειστικά από την θερμοκρασία.



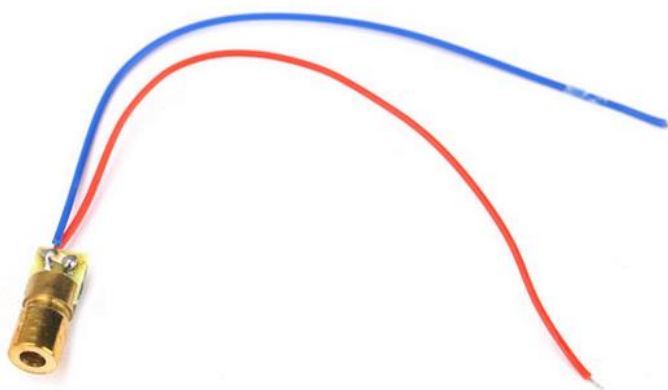
Εικόνα 44: Λειτουργία φωτοδιόδου.

Όταν η δίοδος πολωθεί ανάστροφα, δηλαδή η περιοχή p συνδεθεί με τον αρνητικό πόλο μιας πηγής και αντίστοιχα η περιοχή n με τον θετικό τότε η φορά του εξωτερικού πεδίου θα είναι από τον n στο p και κατ' επέκταση θα αντιστέκεται στο ρεύμα διάχυσης, χωρίς να επηρεάζεται το ρεύμα ολίσθησης. Αυτή η διαδικασία αποτελεί την ανάστροφη πόλωση.

Όταν υπάρξει σημαντική αύξηση της αναστροφης τάσης που εφαρμόζεται, παρατηρείται μηδενισμός του ρεύματος διάχυσης με αποτέλεσμα να υπάρχει μόνο το ρεύμα ολίσθησης.

2.4.4 Λείζερ

Το λείζερ που χρησιμοποιήθηκε στην διάταξη παρουσιάζεται στην εικόνα 45 και είναι πηγή συνεχούς ρεύματος 5 volt. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 3. Το λείζερ συνδέθηκε με το Arduino προκειμένου να ρυθμιστεί η εκπομπή της φωτεινής δέσμης και η στήριξή του έγινε πάνω σε ειδική βάση για να μπορεί να μετακινηθεί εύκολα.



Εικόνα 45: Λείζερ διάταξης.

Ισχύς εξόδου: 2-5mW

Μήκος κύματος: 650nm

Τάση Λειτουργίας:	5v
Σχήμα λέιζερ:	Τελεία
Θερμοκρασία εργασίας:	-10 °C ~ 40 °C
Φακός & περίβλημα:	Πλαστικό
Διαστάσεις:	6 X 10 mm

Πίνακας 4: Τεχνικά χαρακτηριστικά λέιζερ.

2.4.5 Πολωτικό φίλτρο

Ένα πολωτικό φίλτρο αποτελείται από δυο δαχτυλίδια. Με την περιστροφή του φακού αριστερόστροφα ή δεξιόστροφα επιτυγχάνεται η μέγιστη πόλωση. Με την χρήση του πολωτικό φίλτρου και την τοποθέτησή του μπροστά από το λέιζερ με ειδική βάση, ρυθμίζεται εύκολα η δέσμη του λέιζερ που θα φτάνει πάνω στο δείγμα. Το πολωτικό φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε στην διάταξη φαίνεται στην εικόνα 46.



Εικόνα 46: Πολωτικό φίλτρο διάταξης.

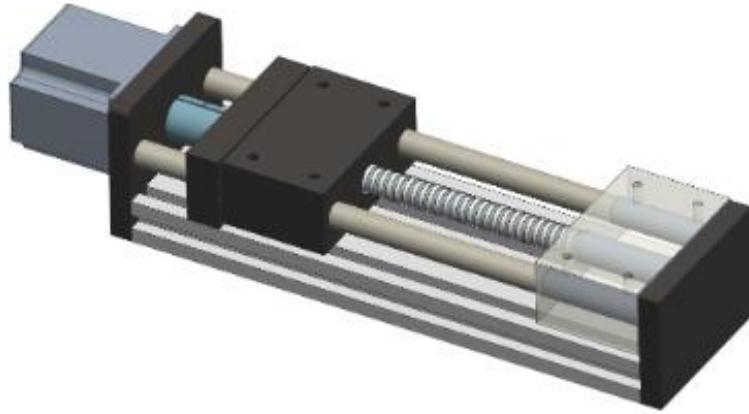
Διάμετρος Φίλτρου 58mm

Τύπος Φίλτρου Close-Up

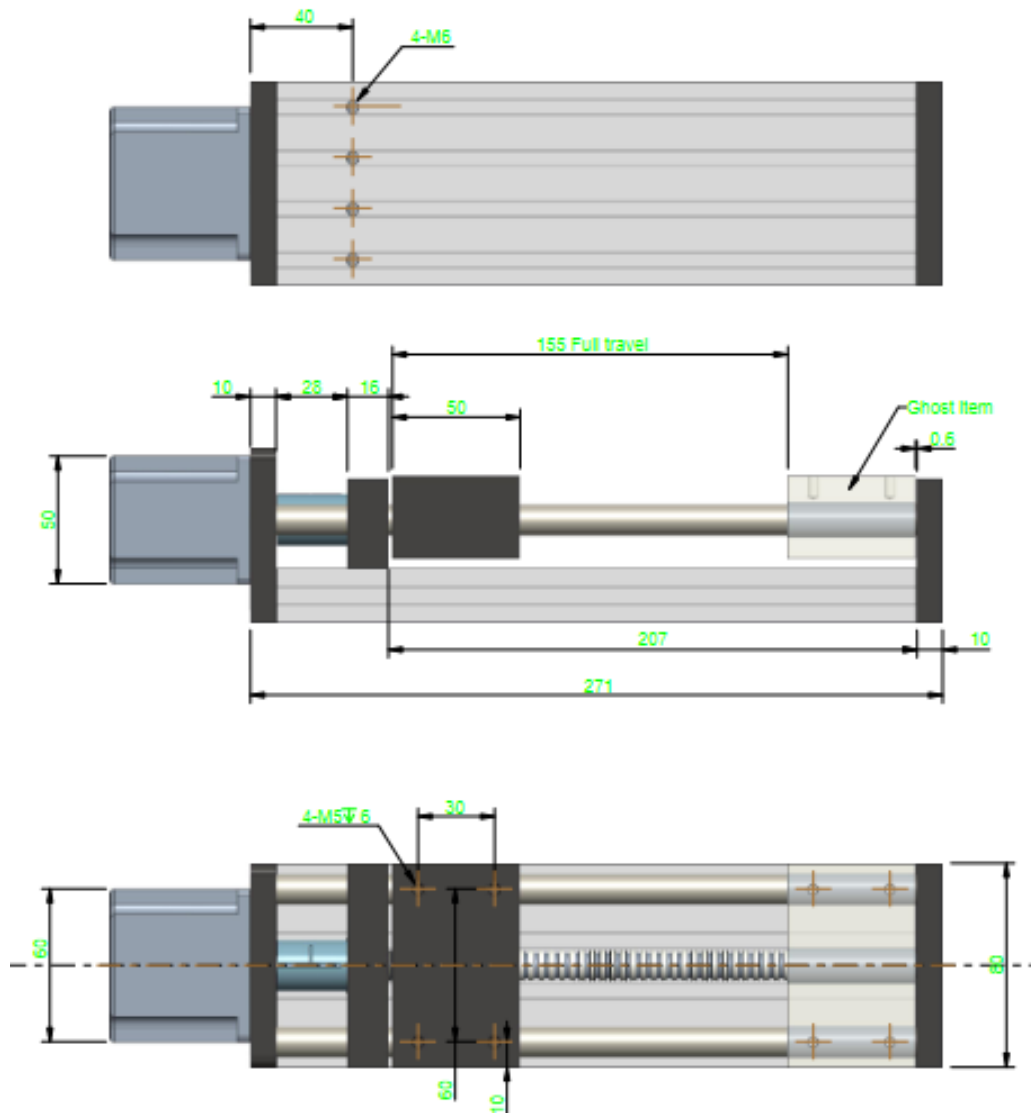
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά πολωτικού φίλτρου.

2.4.6 Βηματικός κινητήρας

Στην τελική κατασκευή προκειμένου να επιτευχθεί η μεγάλη ακρίβεια που χρειάζεται για να βρεθεί ο δείκτης ανάκλασης των εκάστοτε υλικών χρησιμοποιήθηκε ο κινητήρας της εικόνας 47. Στην εικόνα 48 παρουσιάζονται αναλυτικά οι διαστάσεις του και στον πίνακα 4 τα χαρακτηριστικά του. Για να μπορέσει να λειτουργήσει το μοτέρ χρειάστηκε έναν driver και έναν μετατροπέα τάσης. Ο κινητήρας συνδέθηκε με το Arduino. Ο κώδικας που παρουσιάζεται στο παράρτημα 1, δίνει στον κινητήρα την δυνατότητα να κινείται με δυο ταχύτητες αργά- γρήγορα. Αφού οι αρθρώσεις είναι εγκατεστημένες πάνω του τους με ρουλεμάν σε όλες τις συνδέσεις τους, δίνεται η δυνατότητα να κινούνται μαζί του.



Εικόνα 47: Κινητήρας για την μετακίνηση των αρθρώσεων για μεγαλύτερη ακρίβεια.



Εικόνα 48: Σχεδιασμός κινητήρα.

Κινητήρας nema 23

Διαστάσεις:	57x56mm
Τάση	24VDC
Ρεύμα	3 ^A
Ονομαστικές στροφές	800 rpm
Στατική ροπή	0,9 NM

Κινητήρας nema 17

Διάμετρος	42*48mm
Τάση	24V
Ρεύμα	1,5A
Ροπή	0,45 NM

Πίνακας κίνησης γραμμικής κίνησης ολίσθησης οδηγού γραμμικής βίδας

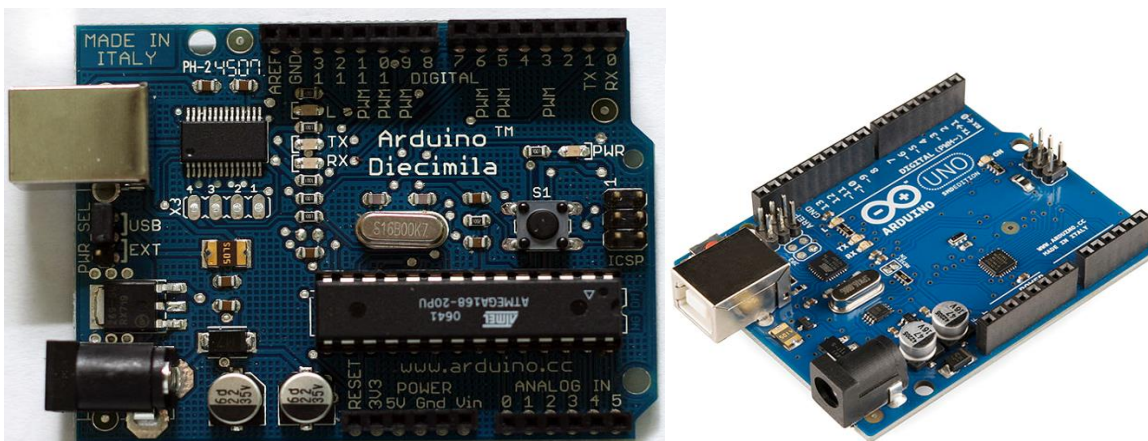
Μήκος κίνησης:	100mm-600mm
Διάμετρος βίδας:	12 mm, 16 mm
Ακρίβεια:	0,15mm
Ταχύτητα:	40-100mm/s
Οριζόντιο φορτίο:	μέγιστο 50 κιλά
Κατακόρυφο φορτίο:	15 kg

2.4.7 Arduino.

Για να διεξαχθεί το κατασκευαστικό μέρος της μεταπτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκε μια διάταξη ευρέως διαδεδομένη στην αγορά για εφαρμογές τόσο σε αυτοματισμούς όσο και ρομποτικής, το οποίο ονομάζεται Arduino. Στην συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση για τα θεωρητικά του χαρακτηριστικά και πως με την σειρά του μπορεί να βοηθήσει η χρήση του στην αυτοματοποιημένη κινηματική διάταξη.

2.4.7.1 Εισαγωγή για Arduino.

Όσο αφορά την ιστορία του Arduino, το 2005 στην Invea της Ιταλίας, κατασκευάστηκε μία συσκευή, η οποία παρείχε δυνατότητα ελέγχου και αλληλεπίδρασης της σύμφωνα με το εκάστοτε περιβάλλον. Ο σκοπός των κατασκευαστών ήταν το κόστος παραγωγής και αγοράς της, να είναι αρκετά χαμηλό σε σύγκριση με άλλες παρόμοιων δυνατοτήτων. Η ομάδα των κατασκευαστών της αποτελούσαν οι Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, David Mellis και Gianluca Martino. Το όνομα της βασίστηκε στον Arduino of Invea, έναν βασιλιά της Ιταλίας του ενάτου αιώνα όπου κατοικούσε στην ίδια πόλη. Η συσκευή ονομάστηκε "Arduino" που αντιστοιχούσε σε ένα ιταλικό ανδρικό όνομα και σήμαινε "ισχυρός φίλος". Στην εικόνα 49 παρουσιάζεται η πλακέτα Arduino, μοντέλου Uno 3.



Εικόνα 49: Πλακέτα του Arduino UNO 3.

Ψηφιακή θύρα I/O:	0~13
Αναλογική θύρα I/O:	0~5
Υποστηρίζει τη λειτουργία λήψης ISP	
Τάση εισόδου:	Όταν συνδέεται με USB υπολογιστή, δεν χρειάζεται εξωτερική πηγή τροφοδοσίας.
Για εξωτερική πηγή ρεύματος:	Είσοδος τάσης 5V~9V DC.
Τάση εξόδου:	Έξοδος τάσης 5 V DC και τάση εξόδου 3,3 V DC

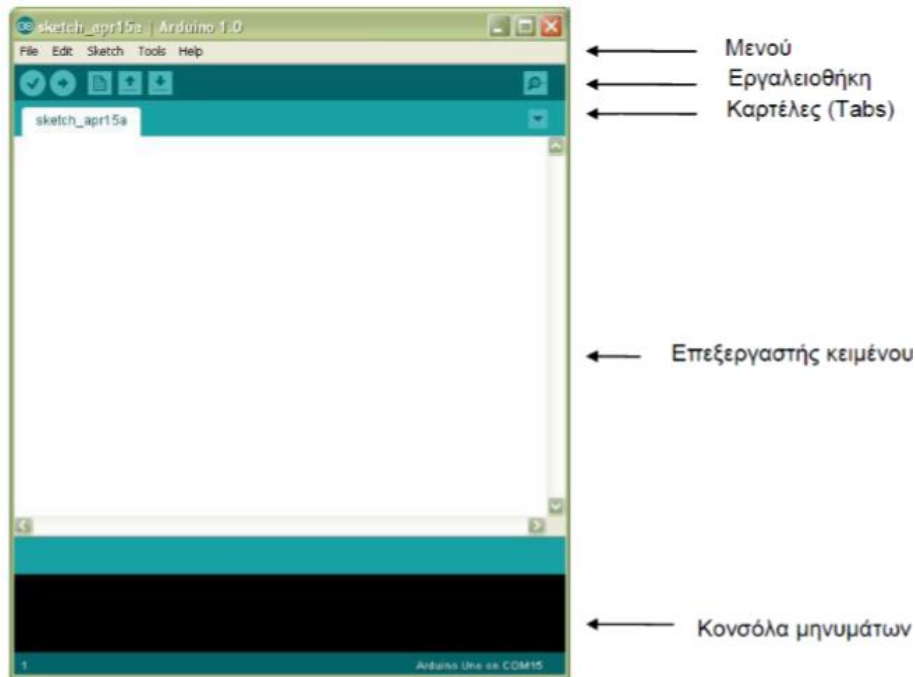
Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά Arduino.

Η λειτουργία του Arduino βασίστηκε στην πλατφόρμα Wiring, που αποτελούσε μία πτυχιακή εργασία του Hernando Barragan από το Interaction Design Institute Ivrea. Ο ίδιος επιδίωκε να δημιουργήσει μία ηλεκτρονική εκδοχή της Processing σε ένα περιβάλλον προγραμματισμού δικό της, το οποίο ήταν παρόμοιο σχεδιαστικά και συντακτικά με αυτό της Processing.

Το λογισμικό είναι πιο εύκολο να τροποποιηθεί από ότι το hardware. Με μερικά πατήματα πλήκτρων, μπορεί να αλλάξει ριζικά η λογική μίας συσκευής και να δημιουργηθούν επιπλέον ακόμη δύο ή τρεις δοκιμαστικές εκδόσεις.

Όπως το ανέφερε ο δημιουργός της, το Arduino είναι μία open-source (ανοικτού κώδικα) πλατφόρμα «πρωτοτυποποίησης» ηλεκτρονικών κυκλωμάτων βασισμένη σε ευέλικτο και εύκολο στη χρήση hardware και software που προορίζεται για οποιονδήποτε έχει λίγη προγραμματιστική εμπειρία, στοιχειώδεις γνώσεις ηλεκτρονικών και ενδιαφέρεται να δημιουργήσει διαδραστικά αντικείμενα ή περιβάλλοντα.

Το Arduino αποτελείται από δύο κύρια μέρη, την πλακέτα Arduino το οποίο είναι το κομμάτι του hardware πάνω στο οποίο εργάζεται ο κατασκευαστής όταν πραγματοποιεί μία κατασκευή ενώ το δεύτερο τμήμα είναι το Arduino IDE, το κομμάτι του λογισμικού που τρέχει στον υπολογιστή. Το IDE χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί ένα sketch (ένα μικρό πρόγραμμα στον υπολογιστή) που φορτώνεται στον μικροελεγκτή της πλακέτα Arduino. Το sketch λέει στην πλακέτα arduino τι πρέπει να κάνει. Με το κατάλληλο λογισμικό ο χρήστης μπορεί να στείλει εντολές ή δεδομένα γενικά από και προς την πλακέτα και να φορτώσει το πρόγραμμα στον bootloader, το οποίο θα εκτελεί αυτόματα η πλακέτα. Για τη διαχείριση του Arduino από τον υπολογιστή χρησιμοποιείται το Arduino IDE. Στην εικόνα 50 παρουσιάζεται το μέσω διεπαφής του χρήστη με το Arduino IDE.



Εικόνα 50: Διεπαφή του χρήστη και του Arduino IDE

Πρόκειται λοιπόν για έναν μικροελεγκτή, ο οποίος περιλαμβάνει ένα chip ATmega. Η συσκευή αυτή διαθέτει εισόδους και εξόδους που αντιδρούν βάση του προγραμματισμού του χρήστη. Απαραίτητη προϋπόθεση λειτουργίας της είναι η φόρτωση του κώδικα στο chip μέσω του υπολογιστή. Η γλώσσα προγραμματισμού του είναι η Wiring, η οποία κατά την σύνταξη είναι εύκολη και διατίθεται σε πλατφόρμες Linux, MAC και Windows με άδεια χρήσης GPL.

2.4.7.2 Μέρη Arduino.

Στην εικόνα 51 που ακολουθεί παρουσιάζεται η καρδιά του Arduino. Το Arduino βασίζεται στον ATmega328, έναν 8-bit RISC μικροελεγκτή, τον οποίο χρονίζει στα 16MHz. Διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη τριών τύπων:



Εικόνα 51: Μικροελεγκτής ATmega328.

-2Kb μνήμης SRAM, ωφέλιμη μνήμη για αποθήκευση μεταβλητών, πινάκων κ.τ.λ.

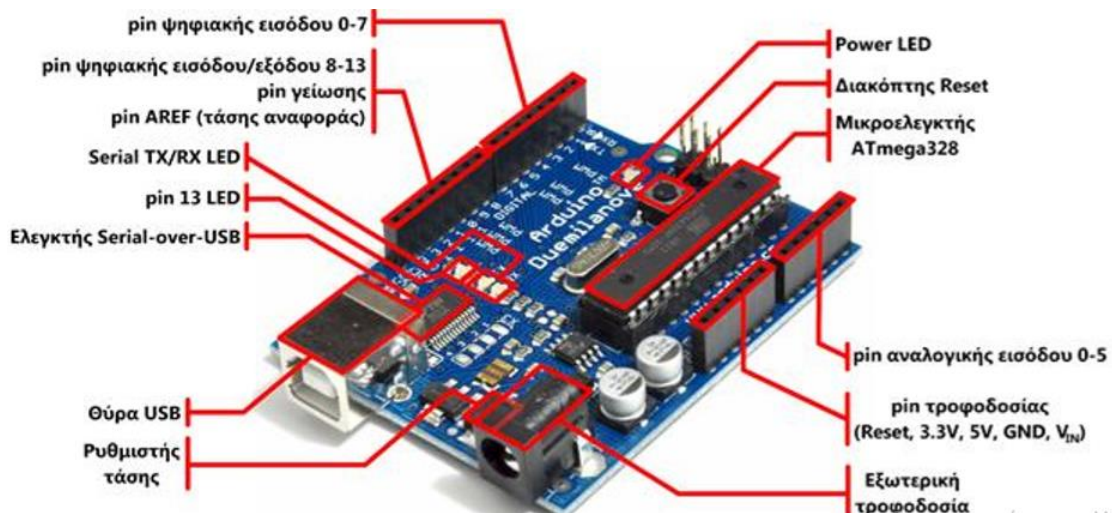
-1Kb μνήμης EEPROM, για την αναγνώριση και γραφή δεδομένων ανά byte.

-32Kb μνήμης Flash, τα 2Kb χρησιμοποιούνται από το firmware του Arduino που έχει εγκατασταθεί από τον κατασκευαστή του. Το firmware, αυτό που στην ορολογία του Arduino ονομάζεται bootloader είναι απαραίτητο για την εγκατάσταση των προγραμμάτων ενός χρήστη στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB. Με τον τρόπο αυτόν δεν χρειάζεται εξωτερικός hardware programmer. Τα υπόλοιπα 30Kb της μνήμης Flash χρησιμοποιούνται στην αποθήκευση των παραπάνω προγραμμάτων, αφού πρώτα πραγματοποιηθεί η μεταγλώττιση τους στον υπολογιστή.

Πιο αναλυτικά τώρα το Arduino διαθέτει σειριακό interface. Ο μικροελεγκτής ATmega δέχεται σειριακή επικοινωνία. Μέσω του Arduino προωθείται η σειριακή επικοινωνία χρησιμο-ποιώντας έναν ελεγκτή Serial-over-USB, με σκοπό να συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω USB. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μεταφορά προγραμμάτων που διεξάγονται από τον υπολογιστή στο Arduino.

Πάνω στην πλακέτα του Arduino παρατηρεί κάποιος θύρες και pins. Έτσι για να μπορέσει κάποιος να κατανοήσει την χρήση του θα πρέπει να ξέρει και τον λόγο ύπαρξης των παραπάνω. Η πλακέτα του Arduino στην πάνω πλευρά έχει τοποθετημένα 14 θηλυκά pins, με αρίθμηση από 0 ως 13. Τα pins αυτά λειτουργούν ως ψηφιακές εισοδοι και εξοδοι. Επιπλέον, λειτουργούν στα 5V και καθένα από αυτά μπορεί να παρέχει ή να δεχτεί το πολύ 40mA.

Τώρα λαμβάνοντας τα ως ψηφιακές εξόδους, μπορούν να τεθούν μέσω του εκάστοτε προγράμματος σε κατάσταση HIGH ή LOW. Με τον τρόπο αυτό, το Arduino είναι σε θέση να κατανοήσει αν πρέπει να παρέχει ή όχι ρεύμα στο συγκεκριμένο pin. Στην εικόνα 52 που ακολουθεί φαίνονται αναλυτικά τα εξαρτήματα- μέρη μιας πλακέτας Arduino.



Εικόνα 52: Εξαρτήματα - Λειτουργικά μέρη της πλακέτας

Με την παραπάνω διαδικασία ένας χρήστης του Arduino έχει την ικανότητα να ανάψει και να σβήσει ένα LED, το οποίο είναι συνδεδεμένο στο συγκεκριμένο pin. Επιπλέον, υπάρχει και η δυνατότητα ρύθμισης ενός από τα pins, ως ψηφιακή είσοδο μέσω του προγράμματος, με κατάστασή (HIGH ή LOW), ανάλογα με το αν η εξωτερική συσκευή που έχει συνδεθεί στο συγκεκριμένο pin χρειάζεται ρεύμα ή όχι. Τέλος κάποια από τα 14 pins, πέρα από ψηφιακές εισοδοι- εξοδοι έχουν και δεύτερη λειτουργία. Πιο συγκεκριμένα:

- Τα pins 0 και 1 λειτουργούν ως RX και TX της σειριακής λειτουργίας, όταν το πρόγραμμά του χρήστη ενεργοποιήσει την σειριακή θύρα. Με τον τρόπο αυτό σε περίπτωση που μέσω του προγράμματος σταλούν δεδομένα στην σειριακή, γίνεται αυτόματα και η προώθησή τους στην θύρα USB μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB και στο pin 0 για να τα διαβάσει ενδεχομένως μια άλλη συσκευή, όπως ένα δεύτερο Arduino.
- Τα pins 2 και 3 λειτουργούν ως εξωτερικά interrupt (interrupt 0 και 1 αντίστοιχα). Έτσι μπορούν να ρυθμιστούν μέσω του προγράμματος, να λειτουργούν μόνο ως ψηφιακές εισοδοί. Με την παραπάνω διαδικασία όταν συμβούν κάποιες αλλαγές, η κανονική ροή του προγράμματος σταματάει για λίγο και εκτελείται η συνάρτηση που έχει ορίσει ο χρήστης. Οι εφαρμογές που είναι απαραίτητα τα εξωτερικά interrupt είναι εκείνες που απαιτούν συγχρονισμό μεγάλης ακρίβειας.
- Τα pins 3, 5, 6, 9, 10 και 11 λειτουργούν και ως ψευδοαναλογικές έξοδοι με το σύστημα PWM (Pulse Width Modulation). Πρόκειται για πανομοιότυπο σύστημα με εκείνο των μητρικών των υπολογιστών που σκοπό έχουν να ελέγχουν τις ταχύτητες των ανεμιστήρων. Έτσι, συνδέοντας ο χρήστης ένα LED σε κάποιο από τα παραπάνω pins είναι σε θέση να ελέγξει την φωτεινότητά του με ανάλυση 8bit (256 καταστάσεις από 0-σβηστό ως 255-πλήρως αναμμένο).

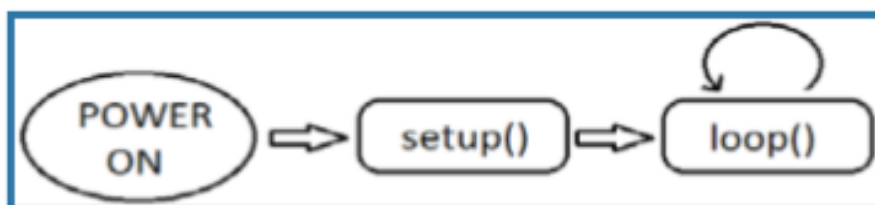
Σχετικά τώρα με την κάτω πλευρά του Arduino, με τη σήμανση ANALOG IN, υπάρχει μια σειρά, η οποία αποτελείται από 6 pins, με αρίθμηση από το 0 ως το 5. Τα pins αυτά λειτουργούν ως αναλογική είσοδος κάνοντας χρήση του ADC (Analog to Digital Converter), το οποίο είναι ενσωματωμένο στον μικροελεγκτή. Έτσι αν ο χρήστης τα τροφοδοτήσει με μια τάση, από 0V ως μια τάση αναφοράς Vref η οποία, αν δεν κάνετε κάποια αλλαγή είναι προ ρυθμισμένη στα 5V, τότε με την χρήση του προγράμματος η τιμή του pin διαβάζεται ως ένας ακέραιος αριθμός ανάλυσης 10-bit, από 0 (όταν η τάση στο pin είναι 0V) μέχρι 1023 (όταν η τάση στο pin είναι 5V). Τέλος, καθένα από αυτά pin, ρυθμίζοντας τα κατάλληλα από το πρόγραμμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ψηφιακά pin εισόδου/εξόδου όπως τα 14 της πάνω πλευράς του Arduino, τα οποία μετονομάζονται από 0~5 σε 14~19 αντίστοιχα.

Το Arduino τροφοδοτείται με ρεύμα είτε από τη USB θύρα του υπολογιστή, είτε από αυτόνομη παροχή ρεύματος μέσω μπαταρίας. Η μονάδα παρέχει σταθερά τάση, ύψους 5V, στις εξόδους της. Για παροχή ρεύματος στη μονάδα από εξωτερική πηγή δέχεται τροφοδοσία από εξωτερικό βύσμα - συνιστώμενη παρεχόμενη τάση λειτουργίας είναι στα 7V έως 12V, ώστε να μπορεί να λειτουργήσει και να δώσει σταθερά τα 5V στην έξοδο. Μπορείτε να συνδέσετε την παροχή ρεύματος απευθείας στα pins που προορίζονται για αυτό το σκοπό: (+) στο Pin VCC IN και (-) στο Gnd δίπλα του. Στην περίπτωση που είναι συνδεδεμένη η μονάδα μας μόνιμα με θύρα USB τότε δουλεύει χωρίς πρόβλημα με τα 5V που παρέχει η USB θύρα.

Τα πλεονεκτήματα της πλατφόρμας Arduino είναι οικονομικά, καθώς οποιοσδήποτε μπορεί να την υλοποιήσει μόνος του με μικρό κόστος και σαν επιλογή είναι η πιο οικονομική λύση για την λειτουργία διαφόρων συσκευών. Επιπλέον, η πλατφόρμα Arduino είναι εύκολα μεταφέρσιμη, με αποτέλεσμα να μπορεί να προγραμματιστεί στα περισσότερα λειτουργικά συστήματα. Τέλος, όποιος χρήστης επιθυμεί μπορεί να φτιάξει βιβλιοθήκες που να υποστηρίζονται από την πλακέτα αυτή.

Όσον αφορά το λογισμικό μέρος του Arduino (IDE) είναι δομημένο με τρόπο παρόμοιο της γλώσσας προγραμματισμού Java που το καθιστά μεταφέρσιμο σε πολλά λειτουργικά συστήματα. Το IDE του Arduino περιέχει έναν έξυπνο συντάκτη, μεταγλωττιστή της C, C++, τερματικό για σειριακή επικοινωνία με το Arduino, κ.α.

Πιο αναλυτικά, η γλώσσα προγραμματισμού για την δημιουργία προγραμμάτων στο Arduino είναι η Wiring (C, C++). Στην εικόνα 53 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της γλώσσας wiring. Το IDE του Arduino έχει εγκατεστημένα εργαλεία GNU toolchain και AVR Libc με σκοπό την μεταγλώττιση προγραμμάτων από C, C++ σε κατάλληλες AVR εντολές γλώσσας μηχανής. Παρέχει επίσης και το εργαλείο avrduude με το οποίο πραγματοποιείται η αποστολή του εκτελέσιμου προγράμματος στην Flash memory του Arduino.



Εικόνα 53: Διάγραμμα ροής λειτουργίας της γλώσσας wiring

Η ψηφιακή σχεδίαση του υλικού μέρους του Arduino είναι ανοιχτή και προσβάσιμη από όλους μια και είναι δημοσιευμένη υπό την άδεια Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5. Επίσης, το περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) του Arduino είναι ελεύθερο λογισμικό και είναι δημοσιευμένο υπό την άδεια GNU General Public License Version2. [file:///C:/Users/Lenovo/Desktop/Μεταπτυχιακή%20εργασία/Πτυχιακή.StepperMotor.Κυργ.Χοντ..pdf]

Το περιβάλλον ανάπτυξης του Arduino διαθέτει ένα μενού, μια γραμμή εργαλείων με κουμπιά για κοινές λειτουργίες, μια σειρά από μενού, μια περιοχή επεξεργασίας κειμένου για τη δημιουργία κώδικα, και τέλος, μια περιοχή μηνυμάτων. Το περιβάλλον του συνδέεται με την πλακέτα του Arduino με την οποία και αλληλοεπιδρούν με στόχο τη φόρτωση προγραμμάτων και την επικοινωνούν μεταξύ τους.

Το ολοκληρωμένο πρόγραμμα, ονομάζεται sketch και είναι γραμμένο με το πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου. Μέσω αυτού μπορεί ο χρήστης να χρησιμοποιήσει είτε εντολές αντιγραφής- επικόλλησης καθώς επίσης αναζήτησης- αντικατάστασης κειμένου. Η κονσόλα αντιπροσωπεύει την έξοδο του κειμένου από το περιβάλλον. Με την χρήση των κουμπιών της γραμμής εργαλείων μπορεί ο χρήστης να πραγματοποιεί τον έλεγχο και το ανέβασμα των προγραμμάτων, άνοιγμα της σειριακής οθόνης, το άνοιγμα και την αποθήκευση των sketch, και τέλος την δημιουργία νέου sketch.

Η δομή ενός τυπικού προγράμματος Arduino παρουσιάζεται παρακάτω:

//δήλωση μεταβλητών

void setup ()

{

//αρχικοποιήσεις

}

void loop ()

{

//Κώδικας

}

Έχουν δημιουργηθεί δυο συναρτήσεις, μέρος του κάθε sketch του Arduino οι οποίες είναι η setup() και η loop(). Την setup() την καλεί μια φορά, στην αρχή του sketch ή ενίοτε κάνει επαναφορά(reset) η πλατφόρμα Arduino. Στην setup() πραγματοποιούνται οι αρχικοποιήσεις των μεταβλητών, η ρύθμιση της κατάστασης των ακίδων (pins) και η προετοιμασία των βιβλιοθηκών. Με την συνάρτηση loop() έχουν μια συνεχή επανάληψη που επιτρέπει στο εκάστοτε πρόγραμμα να ανταποκριθεί σε εξωτερικά ερεθίσματα. Για την σωστή λειτουργία του πρέπει να περιλαμβάνονται και οι δυο συναρτήσεις, ακόμα και αν δεν περιέχουν κώδικα.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται μερικές από τις πιο βασικές δομές και λειτουργίες που μπορεί να αξιοποιηθεί ως εργαλεία κατά την συγγραφή ενός προγράμματος Arduino :

Δομές ελέγχου ροής

if (δομή ελέγχου μίας συνθήκης)

if ... else (δομή ελέγχου πολλαπλών συνθηκών)

for (δομή επαναληπτικού ελέγχου συνθήκης)

while (δομή επαναληπτικού ελέγχου συνθήκης)

do ... while (δομή επαναληπτικού ελέγχου συνθήκης)

switch ... case (δομή ελέγχου περιπτώσεων)

break (εντολή διακοπής μιας επαναληπτικής δομής)

continue (εντολή παράλειψης της τρέχουσας επανάληψης)

return (εντολή επιστροφής από μία συνάρτηση)

goto (εντολή μετάβασης σε κάποιο σημείο του κώδικα)

Αριθμητικοί τελεστές

= (τελεστής εκχώρησης)

+

- (τελεστής αφαίρεσης)

*

/ (τελεστής διαίρεσης)

% (τελεστής υπόλοιπου ακεραίας διαίρεσης)

Λογικοί τελεστές

&& (λογική σύζευξη)

|| (λογική διάζευξη)

! (λογική άρνηση)

Δυαδικοί τελεστές

& (δυαδική σύζευξη)

| (δυναμική διάζευξη)

^ (δυναμική αποκλειστική διάζευξη)

~ (δυναμική άρνηση)

<< (δυναμική αριστερή ολίσθηση)

>> (δυναμική δεξιά ολίσθηση)

Τελεστές αύξησης και μείωσης

++ (αύξηση κατά μία ακέραιη μονάδα)

-- (μείωση κατά μία ακέραιη μονάδα)

Σύνθετοι τελεστές

+=, -=, *=, /=, %= (σύνθετοι αριθμητικοί τελεστές)

&=, |=, ^=, ~=, <<=, >>= (σύνθετοι δυναμικοί τελεστές)

Τελεστές σύγκρισης

== (ισότητα)

!= (ανισότητα)

< (μικρότερο)

> (μεγαλύτερο)

<= (μικρότερο ή ίσο)

>= (μεγαλύτερο ή ίσο)

Τελεστές δεικτών

* (τελεστής απόκτησης περιεχομένου)

& (τελεστής απόκτησης διεύθυνσης)

Σταθερές

HIGH (τιμή υψηλής στάθμης για μία επαφή εισόδου ή εξόδου)

LOW (τιμή χαμηλής στάθμης για μία επαφή εισόδου ή εξόδου)

false (λογικό επίπεδο ψεύδους σε μία συνθήκη)

true (λογικό επίπεδο αλήθειας σε μία συνθήκη)

INPUT (χρησιμοποιείται για τον ορισμό μίας επαφής ως είσοδο)

OUTPUT (χρησιμοποιείται για τον ορισμό μίας επαφής ως έξοδο)

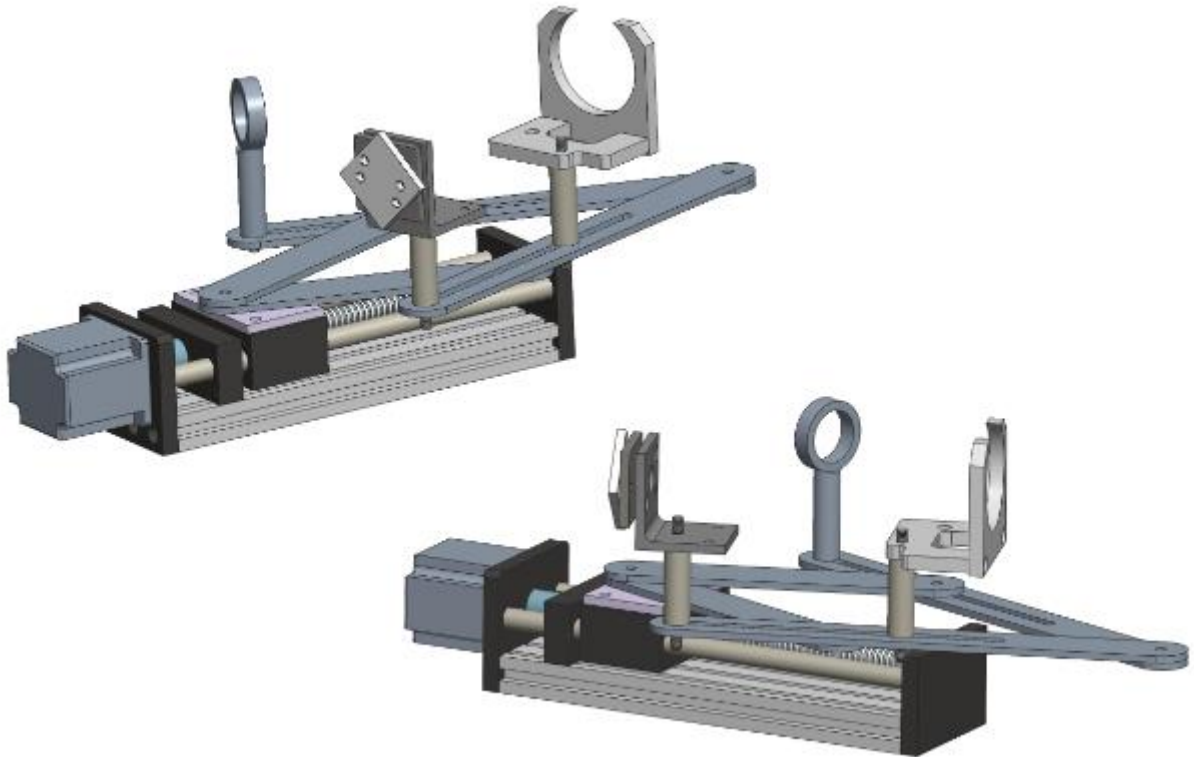
A0, ..., A5 (συμβολοσταθερές για τις αναλογικές επαφές εισόδου)

Τύποι δεδομένων

boolean (λογική δυαδική τιμή)
char (προσημασμένος χαρακτήρας 8 ψηφίων)
unsigned char (μη προσημασμένος χαρακτήρας 8 ψηφίων)
byte (μη προσημασμένος χαρακτήρας 8 ψηφίων)
int (προσημασμένος ακέραιος αριθμός 16 ψηφίων)
unsigned int (μη προσημασμένος ακέραιος αριθμός 16 ψηφίων)
word (μη προσημασμένος ακέραιος αριθμός 16 ψηφίων)
long (προσημασμένος ακέραιος αριθμός 32 ψηφίων)
unsigned long (μη προσημασμένος ακέραιος αριθμός 32 ψηφίων)
float, double (αριθμός κινητής υποδιαστολής απλής ακρίβειας)
String (αντικείμενο αλφαριθμητικού με χρήσιμες μεθόδους)
Ως αλφαριθμητικό μπορεί να θεωρηθεί και ο πίνακας χαρακτήρων

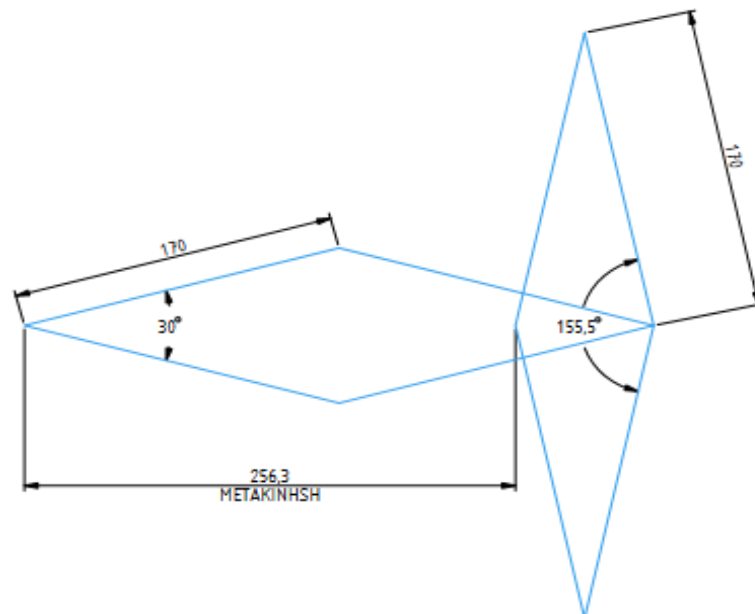
2.4.8 Τελική διάταξη

Η τελική διάταξη παρουσιάζεται στην εικόνα 54. Πάνω στον κινητήρα έχουν τοποθετηθεί οι αρθρώσεις και πάνω στις αρθρώσει το λέιζερ πίσω από το πολωτικό φίλτρο και στην απέναντί πλευρά, συμμετρικά με το λέιζερ, η φωτοδίοδος. Ο κινητήρας δεν τερματίζει την κίνησή του στις δυο πλευρές. Στις δυο μπροστινές αρθρώσεις έχει γίνει μια επέκταση και στο κέντρο της υπάρχουν υποδοχές για να μπορούν να βιδωθούν πάνω τους οι βάσεις για το λέιζερ, το πολωτικό φίλτρο και την φωτοδίοδο. Οι βάσεις αυτές έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε το κέντρο του κύκλου τους να είναι ίδιο για όλες, στα 7cm. Με αυτόν τον τρόπο επιφαινεται η ευθυγράμμιση του συστήματα με το λέιζερ και την φωτοδίοδο. Έτσι μόλις η ακτίνα του λέιζερ πέσει πάνω στο δείγμα που είναι στο κέντρο της διάταξης μπροστά, αυτή αντανακλάται στην φωτοδίοδο και τα αποτελέσματα της φαίνονται στην LCD οθόνη.

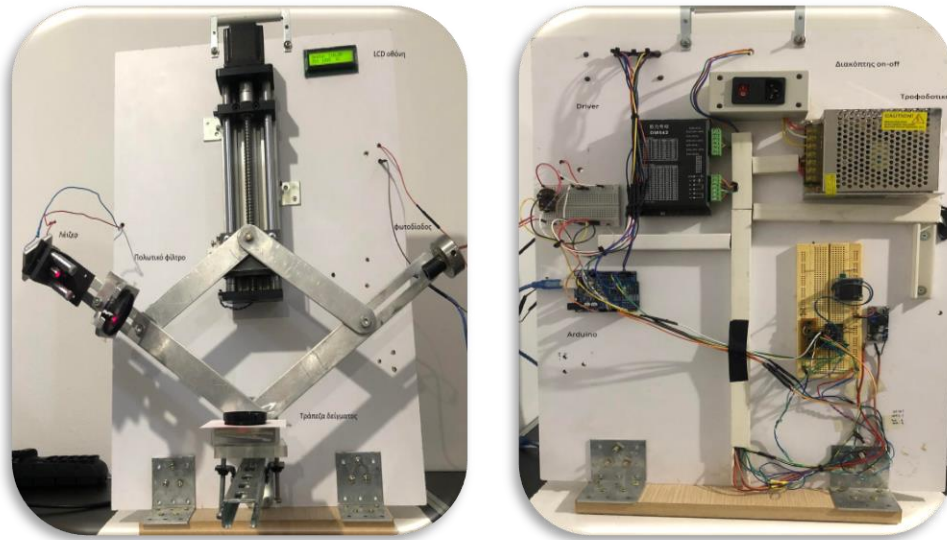


Εικόνα 54: Τελική διάταξη.

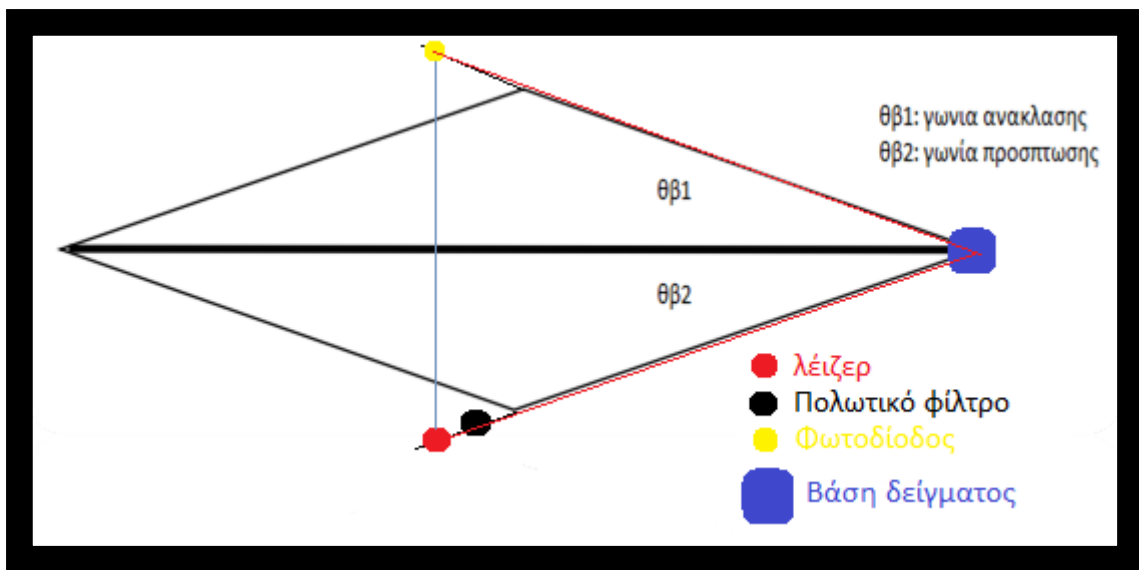
Υπάρχει μια ανοχή 1.5 mm καθώς έχουν τοποθετηθεί τερματικοί διακόπτες και αυτό για να μπορεί μέσα από τον κώδικα να μηδενίζεται το μήκος του κοχλίου και να αναγνωρίζει σε ποια γωνία ξεκινάει το σύστημα. Στην εικόνα 55 φαίνεται το εύρος των γωνιών που καλύπτει αυτό το σύστημα. Όταν οι αρθρώσεις είναι τέρμα κλειστές η γωνία είναι 30° ενώ όταν είναι τέρμα ανοιχτές η μέγιστη γωνία που μπορεί να φτάσει είναι $155,5^\circ$.



Εικόνα 55: Εύρος γωνιών που καλύπτει η διάταξη.



Εικόνα 56: Υλοποίηση τελική διάταξης, μπροστινό και πίσω μέρος αντίστοιχα.



Εικόνα 57: Γωνίες πρόσπτωσης και ανάκλασης της διάταξης.

Κεφάλαιο 3

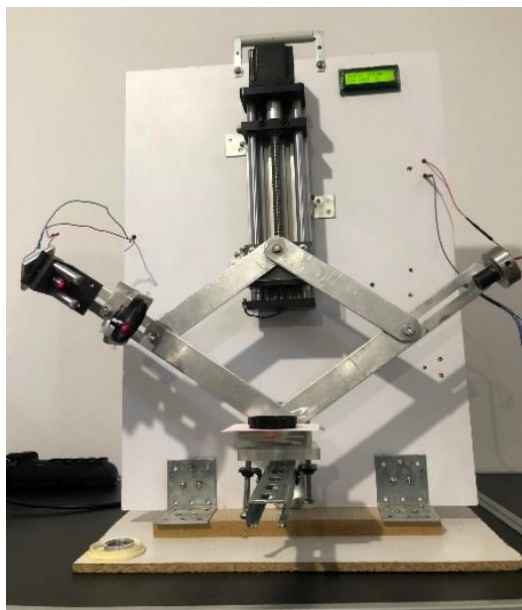
«Πειράματα- μετρήσεις»

Όταν ολοκληρώθηκε η κατασκευή για να γίνει η επαλήθευση όλων των παραπάνω έπρεπε να διεξαχθούν τα απαραίτητα πειράματα. Τα πειράματα αυτά έγιναν με την χρήση έγχρωμης οπτικής ύαλου, τετραφθαλικού πολυαιθυλενίου (pet), πλαστικού συσκευασίας, νερού και τέλος αντισκουριακού λαδιού.

3.1 Συνθήκες μετρήσεων

Πριν ξεκινήσουν οι μετρήσεις έπρεπε να πραγματοποιηθεί ρύθμιση του πολωτικού φίλτρου με σκοπό η φωτεινή δέσμη του λέιζερ να πέφτει οριζόντια πάνω στο δείγμα. Αυτή η ρύθμιση έγινε με ένα δεύτερο πολωτικό φίλτρο. Όταν τοποθετήθηκε το φίλτρο στο μάτι και εστίαζε πάνω σε μια επιφάνεια, η γυαλάδα της εξαφανίστηκε όταν περιστράφηκε, με αποτέλεσμα σε εκείνη την θέση να υπάρχει οριζόντια πόλωση. Έπειτα αυτό το φίλτρο και με φορά κάθετη, μπήκε μπροστά από το ήδη εγκατεστημένο φίλτρο της διάταξης άρχισαν οι δοκιμές με σκοπό να καλιμπραρησεί. Στην φωτοδίοδο τοποθετήθηκε ένα μικρό μαύρο σωληνάκι που βοηθάει στο να μην δέχεται επιπλέον φως από το φυσικό φως του δωματίου.

Το πρώτο πείραμα διεξάχθηκε με δείγμα από οπτικό φίλτρο. Στην εικόνα 58 φαίνεται το δείγμα τοποθετημένο στην βάση της διάταξης. Η γωνία Brewster για το δείγμα αυτό ήταν στις $55,04^\circ$. Σε αυτήν την γωνία η πολωμένη δέσμη του λέιζερ που έπεφτε πάνω στο δείγμα δεν γύριζε πίσω στην φωτοδίοδο, όπως γινόταν σε όλες τις υπόλοιπες γωνίες. Χρησιμοποιώντας, λοιπόν τον τύπο 10, ο δείκτης διάθλασης για το παραπάνω υλικό είναι 1,43. Πράγματι, ο δείκτης διάθλασης για το γυαλί είναι 1,43, όπως φαίνεται και στον πίνακα 1.

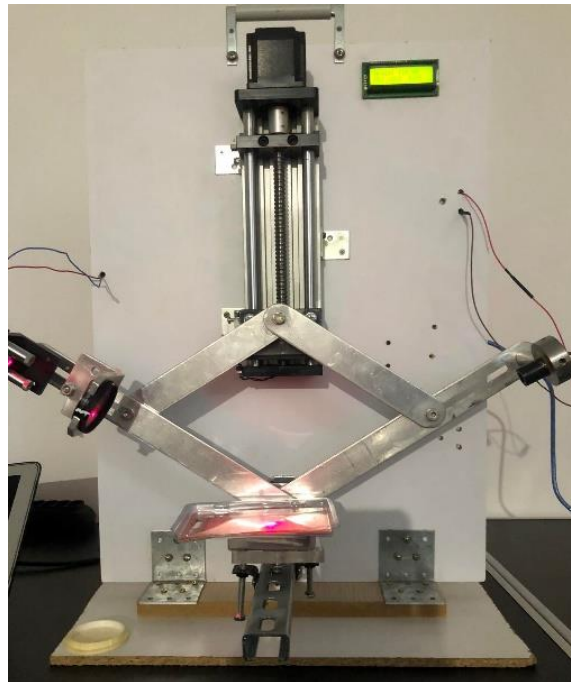


Εικόνα 58: Πείραμα 1 με δείγμα έγχρωμη οπτική ύαλο.

Υλικό	Δείκτης διάθλασης Στερεά	Γωνία Brewster
Γυαλί	1,43	55.03

Πίνακας 1

Το δεύτερο πείραμα έγινε σε τετραφθαλικό πολυαιθυλένιο (pet), πλαστικό συσκευασίας. Η γωνία Brewster για το υλικό αυτό είναι $58,4^\circ$. Ο δείκτης διάθλασης εφαρμόζοντας τον τύπο 10 είναι 1,62. Από το πίνακα 1 φαίνεται πως ο δείκτης διάθλασης για το πλαστικό είναι από 1,50 έως 1,67, άρα το αποτέλεσμα μας συμφωνεί απόλυτα με αυτό. Στην εικόνα 59 παρουσιάζεται το πείραμα 2.

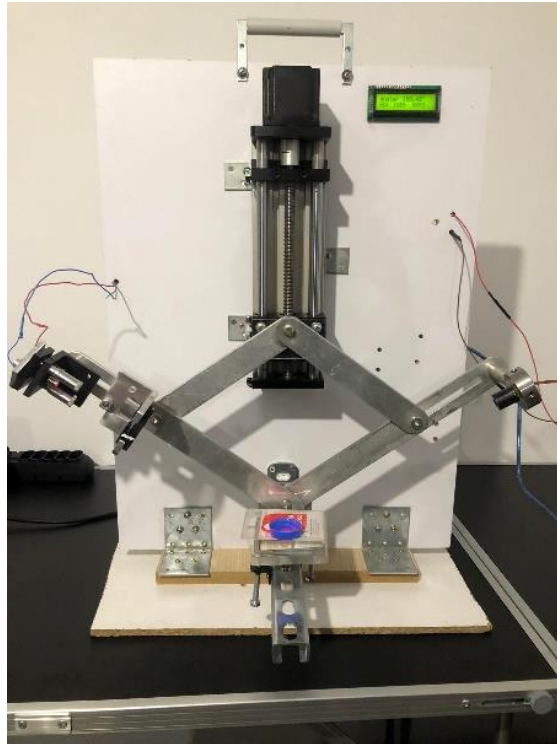


Εικόνα 59: Πείραμα 2 με δείγμα pet.

Υλικό	Δείκτης διάθλασης Στερεά	Γωνία Brewster
Πλαστικό	1,50-1,67	56.30- 59.08

Πίνακας 1

Στο τρίτο πείραμα έγινε σε νερό. Η γωνία Brewster για το νερό είναι στις $50,85^\circ$, ενώ ο δείκτης διάθλασης με βάση τον τύπο 10 είναι 1,23. Στο πείραμα αυτό παρατηρείται μια απόκλιση από το δείκτη διάθλασης του πίνακα 1, ο οποίος είναι 1,3. Αυτή η αστοχία οφείλεται στην μη τελειοποιημένη ευθυγράμμιση του συστήματος, αλλά και στο στην στάθμη του ύψους του δείγματος που δεν ήταν σωστή στο οριζόντιο επίπεδο. Στην εικόνα 60 φαίνεται το τρίτο πείραμα.

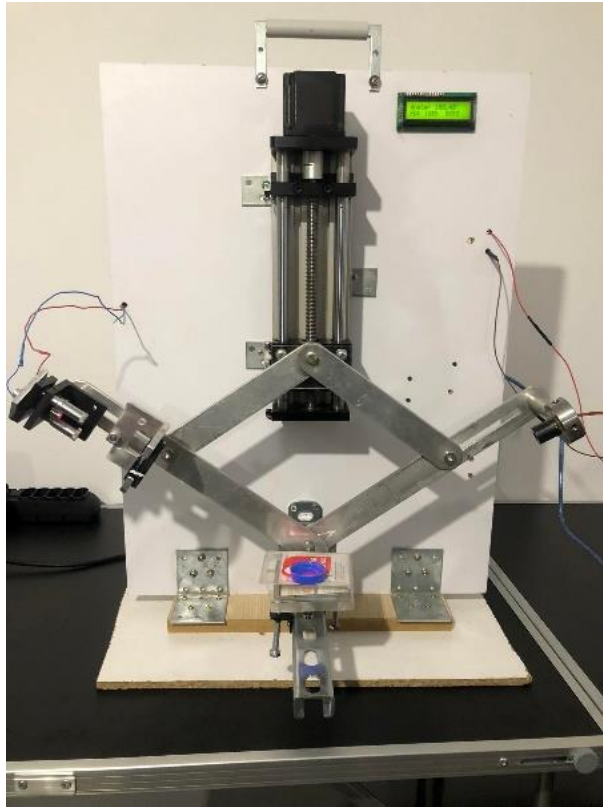


Εικόνα 60: Πείραμα 3 με δείγμα νερό.

Υλικό	Δείκτης διάθλασης	Γωνία Brewster
	Υγρά	
Νερό	1,333	53,06

Πίνακας 1

Τέλος στο τέταρτο πείραμα χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα αντισκουριακό λάδι. Η γωνία Brewster του λαδιού αυτού είναι στις $54,21^\circ$ και ο δείκτης διάθλασης με βάση τον τύπο 10 είναι 1,39. Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται ο δείκτης διάθλασης του ελαιόλαδου, ο οποίος είναι 1,46. Επειδή το λιπαντικό αυτό δεν είναι τόσο παχύρευστο όσο το λάδι, ο δείκτης διάθλασής του είναι δεκτός. Στην εικόνα 60 φαίνεται το τέταρτο πείραμα. Στην εικόνα 62 φαίνεται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων.



Εικόνα 61: Πείραμα 4 με δείγμα αντισκουριακού λαδιού.

Υλικό	Δείκτης διάθλασης Υγρά	Γωνία Brewster
Λαδιού	1,46	55.59

Πίνακας 1



Εικόνα 62: Δείγματα πειραμάτων.

3.2 Εφαρμογές

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα αυτή η διάταξη θα μπορούσε να λάβει χώρα σε πολλές εφαρμογές.

- ✚ Έλεγχος πολύτιμων λίθων (χαρακτηρίζονται από πιο μεγάλους δείκτες διάθλασης).
- ✚ Διαχωρισμός πλαστικών.
- ✚ Έλεγχος νοθείας υγρών (ποτά κ.τ.λ.)
- ✚ Βιολογικά δείγματα.
- ✚ Έλεγχος τροφίμων (ποιότητα- γνησιότητα), όπως το ελαιόλαδο.

3.3 Συμπεράσματα και κριτική προβλημάτων

- Η μέθοδος μέτρησης η αποδείχθηκε εφαρμόσιμη με επιτυχία.
- Εύκολη-άμεση-απλή μέτρηση δείκτη διάθλαση η.
- Μπορεί να εφαρμοσθεί σε μεγάλη ποικιλία δειγμάτων.
- Προοπτική περαιτέρω αυτοματοποίησης και βελτίωσης.
- Σημαντικά πλεονεκτήματα (θα αναφερθούν παρακάτω).
- Η ρύθμισή του και η ευθυγράμμισή του είναι αρκετά περίπλοκη.
- Επιπλέον η καμπύλη μηδενισμού του δείκτη διάθλασης δεν είναι αρκετά οξύς.

3.4 Πλεονεκτήματα μεθόδου και μετρητικής διάταξη

- ✓ Μέθοδος άμεση με οπτική επιβεβαίωση.
- ✓ Μέτρηση δείκτη διάθλασης και σε διαφανή υλικά.
- ✓ Ευρύτατη γκάμα από δείκτες διάθλασης $n = 1.2 - 4$.
- ✓ Δεν εξαρτάται από το πάχος και το χρώμα του υλικού το αποτέλεσμα.
- ✓ Το οπτικό σύστημα βρίσκεται ολόκληρο στην πάνω πλευρά του υλικού.
- ✓ Εφαρμογή σε στερεά και σε υγρά δείγματα.
- ✓ Μπορεί να εφαρμοστεί σε μη συνεργάσιμα δείγματα.
- ✓ Μελλοντική δυνατότητα αυτοματοποίησης.

3.5 Επισκόπηση

Έπειτα από την δοκιμή διαφόρων διατάξεων και αρκετής δουλειάς το τελικό αποτέλεσμα μας δικαιώσε. Μετά την ολοκλήρωση των πειραμάτων και της αρκετά μεγάλης ακρίβειας των αποτελεσμάτων, αυτή η διάταξη με κάποιες μικρές βελτιστοποιήσεις και με την προσθήκη νέων αυτοματισμών θα μπορεί να γίνει ένα καινοτόμο εργαλείο το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε πολλούς τομείς. Θα μπορεί να ελέγξει την ποιότητα των τροφίμων, την αυθεντικότητα των υγρών ακόμα και στον τομέα της Ιατρικής θα μπορούσε να διακρίνει τυχόν παθήσεις του δέρματος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

/*Example sketch to control a stepper motor with A4988 stepper motor driver and Arduino without a library. More info: <https://www.makerguides.com> */

I I Define stepper motor connections and steps per revolution: #include <Wire.h>

//#include::LiquidCrystal
I2C.h> #include <math.h>

//LiquidCrystal I2C led (0x3C, 20, 4); // set the LCD address to 0x27

for a 16 chars and 2 line display

//i

nt

x =

0;

#de

fin

e

dir

Pin

7

#define stepPin 8

//#define Pin12 12

//#define Pin13 13

#define

stepsPerRevolutio

n 1 const int

buttonCWpin = 3;

const int


```
buttonCCWpin =  
2; const int  
buttonCWpinfast  
= 5; const int  
buttonCCWpinfas  
t = 4; const int  
button = 6;
```

```
const int  
limitCW =  
10; const  
int  
limitCCW  
= 11;
```

```
int  
buttonStat  
eCW = 0;  
int  
buttonStat  
eCCW =  
0;
```

```
int  
buttonStateCW  
fast = 0; int  
buttonStateCC  
Wfast = 0; int  
buttonState =  
0;
```

```
int  
limitCW  
State = 0;  
int  
limitCC
```

```
WState =
```

```
0;
```

```
int spd = AO;
```

```
unsigned long
```

```
microsBetweenSteps = 0;
```

```
int countCV = 0;
```

```
int
```

```
countC
```

```
CV =
```

```
0;
```

```
double
```

```
countC
```

```
V1 = 0;
```

```
double
```

```
countC
```

```
V2 = 0;
```

```
double
```

```
countC
```

```
V3          0;
```

```
double countCV4 = 0;
```

```
#include
```

```
<SPI.h>
```

```
#include
```

```
<Wire.h>
```

```
#include<Ad
```

```
fruit
```

```
GFX.h>
```

```
#include<Adafruit SSD1306.h>
```

```

#define OLED RESET 4
Adafruit_SSD1306 display(OLED
_RESET); double x = 0;
void setup() {
display.begin(SSD1306
SWITCHCAPVCC, 0x3C);
display.clearDisplay();

//-----
-----//Declare pins as output: pinMode(stepPin, OUTPUT); pinMode(dirPin, OUTPUT);

// pinMode(Pin12, OUTPUT);
//pinMode(Pin13, OUTPUT);
pinMode(buttonCWpin, INPUT_P
ULLUP);
    pinMode(buttonCCWpin,
INPUT PULLUP);
pinMode(buttonCWpinfast,
INPUT PULLUP);
    pinMode(buttonCCWpinfast,
INPUT_PULLUP);
    pinMode(button, INPUT
PULLUP);.
pinMode(limitCW,
INPUT_PULLUP);
pinMode(limitCCW, INPUT
PULLUP);

//digitalWrite(ledPin, LOW);

```

```

Serial.begin(300);
// led.init(); // initialize the led
// led.init();
// Print a message to the LCD.
// led.baeklight();
// led.setCursor(0,0);
// led.print("LENTH IS");
//led.setCursor(17,0);
//led.print(" mm");
//led.setCursor(0,1);
// led.print("speed=");
//led.setCursor(12,1);
// led.print(" ms/stp");
Wire.begin();

/*display.clearDisplay();
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(0,0);
display.setTextSize(2);
display.println("ST ");
display.setCursor(0,18);
display.setTextSize(2);
display.println("SP");

display.display();}*/

}

void loop() {

micosBetweenSteps =map((analogRead(spd)),0, 1023, 1000, 200);
buttonStateCW = digitalRead(but.tonCWpin);
buttonStateCCW = digitalRead(buttonCCWpin);
buttonStateCWfast=digitalRead(buttonCWpinfast);
buttonStateCCWfast=digitalRead(buttonCCWpinfast);
buttonState = digitalRead(button);
buttonStateCWfast=digitalRead(butto nCWpinfast);
buttonStateCCWfast=digitalRead(buttonCCWpinfast);

```

```
limitCWState = digitalRead(limitCW);  
limitCCWState=digitalRead(limitCCW);
```

```

'//Serial.print(microsBetweenSteps);
//Serial.print(buttonStateCW);
//Serial.print(buttonStateCCW);
/Serial.print(buttonStateCWfast);
'/Serial.print(buttonStateCCWfast);
//Serial.println(countCV);
//-----

if(buttonStateCW == LOW && limitCCWState == HIGH)
  // Set the spinning direction clockwise:
{ digitalWrite(dirPin, LOW);
  // Spin the stepper motor 1 revolution slowly:
  // for (inti= 0; i < stepsPerRevolution; i++) {
    // These four lines result in 1 step:
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    // digitalWrite(Pin12, HIGH);
    delayMicroseconds( microsBetweenSteps);
    countCV--;
    // Serial.println(countCV);
    //Wire.beginTransmission(9); // transmit to device #9
    // Wire.write(countCV);          // sends x
    // Wire.endTransmission();      // stop transmitting

    digitalWrite(stepPin, LOW);
    // digitalWrite(Pin12, LOW);
    delayMicroseconds( microsBetweenSteps);

  // lcd.setCursor(10,0);
  //   led.print("          ");
  //   lcd.setCursor(10,0);
  //led.print( countCV);

//lcd.setCursor(10,1);
  // led.print("          ");
  // lcd.setCursor(10,1);

```

```

//lcd.print(microsBetweenSteps);
//-----

//Serial.print(countCV
);
// Serial.print(" ");

countCV1 =countCV /1 ;
//Serial.print(countCV);
// Serial.print(" ");
countCV1 = countCV1 *
countCV1 ;
//Serial.print(countCV1);
// Serial.print(" ");
countCV2 = countCV1 / 68800000 ;
//Serial.print(countCV2);
//Serial.print
(" "); countCV2 = countCV2 - 2;
//Serial.print(countCV2);
//Serial.print(" ");

countCV2 = countCV2 / 2;
//countCV2 = countCV2 +0.8387;
//Serial.print(countCV2);
//Serial.print(" "); double A = acos (countCV2);
double acos(double x);//returns A, the angle corresponding to
cos
(A)
A= A* 57.2958;

//Serial.println(
A)
;

display.clearDisplay();
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(0,0);
display.setTextSize(1);
display.println("STEP ");
display.setCursor(39,0);
display.setTextSize(2);

```

```
display.println(countCV);

display.setCursor(0,18);
display.setTextSize(1);
display.println("ANGLE ");

display.setCursor(30,18);
display.setTextSize(2);
display.println(A);

display.display();}

/-----

if(buttonStateCCW==LOW && limitCWState==HIGH)
{
  //Setthespinningdirectionclockwise:
  digitalWrite(dirPin,HIGH);
  //Spinthesteppermotor1revolution slowly:
  //for(inti=0;i<stepsPerRevolution;i++){
    //Thesefourlinesresultin1step:
    digitalWrite(stepPin,HIGH);

    // digitalWrite(PinI3, HIGH);
    delayMicroseconds(microsBetweenSteps);

    countCV++;

    digitalWrite(stepPin,LOW);
```



```
// digitalWrite(Pin13, LOW); delayMicroseconds(
microsBetweenSteps);

// Serial.println(countCV);

// lcd.setCursor(10,0);
// led.print(" ");

// lcd.setCursor(10,0);
//led.print( countCV);

//lcd.setCursor(10,1);
// led.print(" ");

// lcd.setCursor(10,1);
1/lcd.print(microsBetweenSteps);
//-----
//Serial.print(countCV);
//Serial.print(" ");

countCV1 =countCV/1;
//Serial.print(countCV1);
// Serial.print(" ");countCV1=
countCV1 * countCV1;
//Serial.print(countCV1);
// Serial.print(" ");

countCV2 = countCV1 / 68800000 ;
```

```
//Serial.print(countCV2);
//Serial.print
("          "); countCV2 = countCV2 - 2;
//Serial.print(countCV2);
//Serial.print
("          "); countCV2 = countCV2 / 2;
//countCV2 = countCV2 + 0.8387,
//Serial.print(countCV2);
//Serial.print("  "); double A = acos (countCV2);
double acos(double x); //returns A, the angle corresponding to
cos
(A)
A= A* 57.2958;

// Serial.println(
A
);

display.clearDisplay();
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(0,0);
display.setTextSize(1);
display.println("STEP ");
display.setCursor(39,0);
display.setTextSize(2);
display.println(countCV);

display.setCursor(0,18);
display.setTextSize(1);
display.println("ANGLE ");

display.setCursor(30,18);
display.setTextSize(2);
display.println(A);

display.display();}
```

```
if(buttonStateCWfast==LOW && limitCCWState==HIGH)
    //Setthespinning direction clockwise:

{digitalWrite(dirPin,LOW);

    //Spinthestepper motor 1 revolutionslowly:

    // for(inti= 0;i < stepsPerRevolution;i++){ // These four
        lines result in 1 step: digitalWrite(stepPin,HIGH);
//    digita1Write(Pin12, HIGH);
        delayMicroseconds( microsBetweenSteps);
        digitalWrite(stepPin,LOW);

        //    digitalWrite(Pin12, LOW);
        delayMicroseconds( microsBetweenSteps);
countCV--;}

if(buttonStateCCWfast==LOW && limitCWState==HIGH)

    // Setthespinningdirectionclockwise:
{digitalWrite(dirPin,HIGH);

    // Spin the stepper motor 1 revolution slowly:

    // for(inti=0;i<stepsPerRevolution;i++){ // These
        four lines result in 1 step: digitalWrite(stepPin,
        HIGH);

    // digitalWrite(Pin13, HIGH);
        delayMicroseconds( microsBetweenSteps);
        digitalWrite(stepPin,LOW);

    //    digitalWrite(Pin13,LOW);
        delayMicroseconds(microsBetweenSteps);
countCV++; }
```

```
if(buttonState == LOW)
{ countCV =3507; /13507
}
```

```
if(limitCCWState          LOW)
{

    countCV          =3507;113507
}

//if(limitCCWState == LOW)
//{

//    countCV          = 15971;}

}
```

Βιβλιογραφία

1. Μαθήματα οπτικής-3 Πόλωση
2. Κασσέτας- Φαινόμενο ανάκλασης
3. [Είδη κυμάτων - AUAbethanis/polarization.pdf](#)
4. Πτυχιακή εργασία- Μελέτη και κατασκευή Βηματικού κινητήρα
5. Μοριακή φασματοσκοπία- Πανεπιστήμιο Πατρών
6. Τμήμα επιστήμης & τεχνολογίας υλικών πανεπιστήμιο Κρήτης Φασματοσκοπία
7. Φασματοσκοπία
8. Refraction of Light
9. Principles and application of Brewster angle microscopy
10. Ολική ανάκλαση- Στέργιος Πέλλης
11. Πόλωση του φωτός- Στέργιος Πέλλης
12. Το πολωμένο φως στην επιστήμη και τη φωτογραφία - Πτυχιακή Εργασία στο τμήμα Φωτογραφίας και Οπτικοακουστικών Τεχνών του ΤΕΙ Αθηνών
13. Φωτοδίοδος
14. Φασματοσκοπία 8^η διάλεξη
15. Διάδοση ακτινοβολίας

Ηλεκτρονικές πηγές

16. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa9rmaegKBf8cdxLif9oovrL4JRjQTCBPr20TqZu5iDVx90I4F0G8225PIsawyzPhNgvg60JG7OFCjR0FHqQMjgOO1ZZsF9iXDRivo8aVPnq16GFLG_JVI8LJdpi63V5Xgqv2VWiD06VrxTVNAac8IWXMVk9PD23XEly2zLmpnrHQVdFeFPJIZGxwB8teJjOBKZ5xGJf8jPLI02OiqUuzmow57F7dMmOeBN1EHK_Wno_8OXs-a_qYPPvXgJqEdj8oGSE7hzISY9BWKDckEYVFrDYCUiC4bo8D4M9p1TXZ14%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df&pli=1#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsikVrY0tKREF4WxpFeE56ZGpMVGMOtXpndE5EZ3IOQzFoWmpnMExUY3IZV1JpWW1SalpqQTJNUklmTUhneFozWmxVVEp5WjNOV1VVUjFVW2RkVkJUxaWJEZG5OMEpiY2xwb1p3PT0iLG51bGwsbnVsbCxwB251bGwsbnVsbCwiMi0wI0sWylxNjk3OTBhZC0zZWJmLTQxNWMtYmU0ZC1kODJjZWY0ZmNIZGQIXV1
17. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa_HAQXag8dqYZe3JA3ZFd8eC6qRZNPVlohdrGdPhR67xB_fQvxlKvg5f14DyFSJW_r0v12RIAWTez90vPgoW88GVxBA2HXIT3QCkKftQTMBR5dTq3VAFcFgyDEX4VFpgggb46SyUHA09I_xwGqa-0XzXjFhUx8jgZEajwFsrlYdxQLPaf70PoC09YZDbaH16bbCPQBGsHBkZ7ldC1CMOQGMXN1YmWjGo-7RaF_Fbg2OVIWoVHnsnPHTI5VhxDWJQ8KIN4H7QCVWIGQ6VkJ7A05WE7BHglreBgmUWCxao2&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsikVrY0tKR0UwWldGa1IUVTNMV1U0TXpRdE5EWTJZUzA1TmPNeUxXWmxaak00Tm1VMU1tVmtOaElmTURaRmIyaHRZVvOzWkd0bVVUjFWV2RkVkJUxaWJEUjNTVIZsZFZwb1p3PT0iXQ==
18. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa_yLKEWMta38ZLb4kgJf9rA58e03k5edN9kBPi4s7-rc1kDQeUV_1W_hgVErAouls77ShpRV6AgEnninPdZfbZl6o9dfYMAfdmC3ex8aXrL-t12TI3KtiSoFNH_ZHJiuXLGzhxL9IG3RUU7d7oLgmZoYyMsRDR2lrzZ6s14m3TYQ0HT_f_MTNmLrr9-NeCnniSQpBzTVyeWGfgoBK6UistTaV81QJkzN5yFsa8t4ubmCmDupDdD6yEAL_tRbyR-Gz9SHXuVfVp8uIK2IWEDnuPn_IpLXzOzLVsbtVjpeJ8%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsikVrY0tKRfptTXpGbFltTmIMVfK0WVdRdE5HWmhNUzAOTnpRNUxUUXIZVEUyTWpaaE1UTTROUklmZDE4eWlxUnhNSE5yVVUxbVVUjFWV2RkVkJUxaWJEVIJOREZ0ZGxwb1p3PT0iXQ==
19. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa-RTQJUKumHe3Y1nPYBaBVDmvvELwrJ8niYlklvUlfghWh-Bavg216Mze75i4YJvof_ixWvhJnu8e37A_P15EzfBOvzwd5FTt-TI-l9noNzVsc-DYDGSVBzhXWetqCaie5PG-UR0HLw5vAsqLwtORkS0ranglpm1mX17Ezfnr83vJnSXluB4R8wVbh90onhS_v1SHbu5VlpZaletaRfCMEAA7JYudNKtw3Ed8mLhuawRkPJ0NVhcVmVd8mW8I2X8tTUqbyCXQA3X_YAO3MCGlJUdXTZOnQYWdaVLPci&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsikVrY0tKR0ZrTIRaallTmt

- [MVGn4t0RBdE5ETmlOaTFpWkRoaExUTXdZbVF5TWpVM1pEUm1ZeElmUIRGVFQyWkxaREZpUjFWWFVUjFVW2RkVvKuxaWJEZDNTblkyZDFwb1p3PT0iXQ==](https://www.google.com/search?q=MVGn4t0RBdE5ETmlOaTFpWkRoaExUTXdZbVF5TWpVM1pEUm1ZeElmUIRGVFQyWkxaREZpUjFWWFVUjFVW2RkVvKuxaWJEZDNTblkyZDFwb1p3PT0iXQ==)
20. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa8RTr-p212IMpvBLfxrCDMzCYjBq9PY0uqy3DZ-LjCpZUANyr4Bipid3mpaYlBQmoQUa0NBkkWpTr7qPLoBYUSOtgt5h1iRc_ylpHyrzgJvuEdNQ3ORjVnWTQTzk7pwl1Lg66AQ8f7oeXeAlh47wlvPw3ys26mwYzb71O_F19k9N1ZN_TXnXPw6W_KtAo10xMllGjlr1YCKa-CtR2nwwrifkxWFZ0oa4xVewSzSPsRrBAm1nW9njHZsSHxCjDywjN4O5jPpI0NlKkxhFv3i2oGhysZNTToUMBxmkWHI%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKR1E1TnpZNE4yWTJMVGhrWIRVdE5EQmhNaTA1TkRnM0xUVXpOak01TjJVNFptUTRNeElmVFRSSE4wSIZla3QyZGxGaU5FbGhORUZxWjJGWfDvTnFVbk10ZUZwb1p3PT0iXQ==
21. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa_pKu9kH4DQMCMcSvioeEzyBrBV-3QttCTicSpD6ql_8pRrWDYChNEEBf-gGQLJd4v66eU5oaMEG9ZyhyfapdqS--ld7i_py-Wp_Q34qZHLlRva0bU-D9ZpbQpfuBGihSmKM3geZJR-CWmWZFx1aOvw-pBmaO2VVQmL8NxSe79vFCIOpdV1MdiDX_-Wkl2Fbkywreyr_eMh7FnN-XEnduWQoO4dXOBNvEv8anf8NgjinwLqtZ21tYOPudYINatZRd9dIF7r3ylzKq0iW2--kuns7OXhJC3oahn1u&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKREF4TVdSak1qSmhMV1UwT1dFdE5HSmhPQzFpTm1SakXSmpOR0V6Tnpaak56bGIneElmYjNwU1NiAGhhbmhfZUUhK1VvUjFWV2RkVvKuxaWJEUm5jRTIwZUZwb1p3PT0iXQ==
22. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa9nF7TRUrhknPnJtzWPY8nJqdMMc-BTrKWnsbR45M-XcmaHGHR8w1uziH2WUvJBdFzVyKuE7YszcZjwI8_7V_kA9QYIF6qc96L6Y7H64lg3NTIKI4ciHUCdy7Azt3Os7HUbaic691fhpOUznfUN9RwfXHa-h6ky7NXDojc_RoCXpsh7LVR0DISatSrij9WFG47p8ZCh_btTuySYS-6NOpKRqwd9dcbNjYqR1jVQ2pwwX7J2ZeCslSGHnHClI66k7GR3twoLtgje1jEqanuaXd7svtxkV12SFDOJB&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKREyWmpFME1XVXIMVfV4TORVdE5EUXhaaTA0T0RobUxUVTJObVJqTW1FNE0ySXIPQklmWjNwbU9WWnFXazlQT1d0WIVVUjFWV2RkVvKuxaWJEVjNWMUZMZVZwb1p3PT0iXQ==
23. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa_Zkmww-vVtWI5cuMivjityvPIOXQrdbyTOoaAoiTd6ClI13Gcl3MK6a9FEwUMI23FeAthx8i0Jdzz-unQiStKyYspSv7ZwRnHZvYSuWCtSmEz6Ww2OmaJgKuYxd4h-iwuqTNF-a7jpLgJXonnCSYU0xfZkPzmJKCsEAyJQqoA_Esr2uxzfnM7abpdHwdlGMRw6zjDJNjXH7CE3so4EfnTAiwadvJOnPUckXgAwsu5MqB0eWCm7fkoX50mqOInMWTdWtKbWdNFKz5lbzQZ4tXxif8a_EoiHBMqf_cPv&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRGSzTIRjeFl6Um1MVGM0Wm1ZdE5ERXdaQzA1T0dNM0xUSmtNbVl4TIRsbU5UazFNQklmYzNoUmNXaHZORGRrUkVWVIVVUjFWV2RkVvKuxaWJEWjNWMUZMZVZwb1p3PT0iXQ==
24. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa_QylFqKcOaP8aHXa_6j1vvFu8PAoA4jsQv-UysFl3aJ0Ny28QMnitiY5CCscsz_a7iTO9HqdaymCgGfJnlHcuBAGZPiUsWR3xybByw3ztU_Hamzo7U0Bv1KjJGq6pxCRI48WUYK8J3-hE24Gn3sSN8UmL1n9jz3A-0nZcEe0_8tP6J0xjFbNbMgwoOEXHPyCW0Sn1bft4Jfy0POazGviH8FvPOZqzMHck-TqTp-SiB7Yjil6pT4pncl7DIm7ecrPyqoYrnKa58B8eCMPsfOPcVOPzhOP22-M3vY%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRE0yTXpWaE5UQmIMV1JpT0dRdE5ESTJNQzFoT0dJMkxUZ3dPROztWWpSak1UZzRNAElmTURaaVowaGhIVnBaWkZGYVVVUjFWV2RkVvKuxaWJEUjNSbnB4TWxwb1p3PT0iXQ==
25. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa8NSMVUOlsmkPpoVWjKvhVZ80L3VTdLjP_ThbEDeJghsGJ0LbdWGDm0wRiVi07eLaiUgzdyDhkl_Riy62V06Ndq-2CiDhkW6x0llk_Fz1_mmFlalcOtpTGFxnPCClIbd6cWnZN2_TmGdUAvuBELaeGJDjASTImIvdbinXeHlPDTc_MqK2e4lap_98mNh00VN0k0dTNg_0AYqB1bywan6QqW0OqTVDAySh3cLRejBm6HnzowX4K-9-R4Or8uWPYQz4LqYfDIF-32aoa06Wj6r9h7F8qNAAW-rol3g%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRFF3TmPfnU5XSTRMV1I4WXpBdE5ETXINUZa0WkrBeExUZzJaVFF5WkdSbFpUVTNPUklmU1MxbWNXMWlkmWhqVkvVWVIVVUjFWV2RkVvKuxaWJEWm5TRmRMTWxwb1p3PT0iXQ==
26. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa8lfH84toT1q4O4-2P_fLPeTbOPTg-Qci5hFdAIWfWXAyiAbFh8TP-wN7ThluyihLHwF_Ycf28cyidjp6OgiD_RQMpdnhw7OkqGFPhrJ103HJQUy83wjwmE3hfyNmU1xhDfZ3vUBUJ2HfbwZFKSIK5MSmKf_PZn4A72pvjOpFgyyoCucnSSRkTttMuMEbhNbjlK0u62ed8Na6m5HI8vi0RmjQWHLocFOWAtFCK3EqJ1QnE3AS4_KSF23uJFqanFi3U6aj72H25KUCdUdAAZFVERnaiZzqfypz-3JkFJ2u8%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRFF3TmPfnU5XSTRMV1I4WXpBdE5ETXINUZa0WkrBeExUZzJaVFF5WkdSbFpUVTNPUklmU1MxbWNXMWlkmWhqVkvVWVIVVUjFWV2RkVvKuxaWJEWm5TRmRMTWxwb1p3PT0iXQ==

- [kVrY0tKR0ZqWWpFMlpqUTFMVGRrWTJRdE5EY3IOeTfoWVdWaExUQXhOREE0T0RJMU1EVmpZeElmUIRWbljXeFZIRmhrWkhObFVVUjFWV2RKVKUxaWJEUkJNVzF4TWxwb1p3PT0iXQ==](https://www.google.com/search?q=kVrY0tKR0ZqWWpFMlpqUTFMVGRrWTJRdE5EY3IOeTfoWVdWaExUQXhOREE0T0RJMU1EVmpZeElmUIRWbljXeFZIRmhrWkhObFVVUjFWV2RKVKUxaWJEUkJNVzF4TWxwb1p3PT0iXQ==)
27. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa-HvXfoyspe7DM1h_MMLCWY30V9niPA9IH72StShSgQv7dEKax-SUheF_VIOvB1h-J-mLJYrT2klGZdXYaf24qoAcZTp140xpKj5NHSgCe_N2uoZXP_K4nUlg6g_E2-pSv0BCvv1qhwEz4dY-6oObJuVYN_ENTYwAMvme15dHT6A2Jla0OSTPWjKKRBqm0VV5e_bXqJf3A0kIN_Yn10PHRkNzu2aJntEhuhL-729wqJolVDwPaCE_QP8Na72mnA4hgo5-fl2R2HV6YR2XArQPI0wNEkriMEuRyJ&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRGRsTTJNFptVmhMV1prVWdZdE5ESTVZUzA0TURkaUxUSXhOREI6WIRFMk1tUTRNeElmWXkxSVNHUTNUSEZtVIVsYVVUjFWV2RKVKUxaWJEWIJhRE5sTWxwb1p3PT0iXQ==
28. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa9z-LxoiXblhIDIKnTxNjgf5LOhCGsqTKYJoB2q8TmaSvCHyU4E42INj2ITuycuLdW2y_FWvXx7bNY-zECY1z2mtbveTCC6PRAXkTXpxmAthenxCACbTUH6iN9c6mh0mz3elWj602CAcGskq1pb41COAS7X5tAji5EOmJRyWxGPrjWoER_SmnGTrg1Uc_FVz5DmDwDFHdcfz8-9hVQYcRWENbY5LKYKtGlXx0yok-5VIUMncc-vi8v7cr_9GtYBvnDzxYdGM5G8arl42oDO325GTHY41DbPavRGR2iX_c%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKR014TURVM09EWXpMVEF5TVRZdE5HRTNZeTA1TtmpFd0xUUmT0V1UwWTJGaFpURTJZUklmUVhkMU5GRKJNV2RwVURCWWVVUjFWV2RKVKUxaWJEWm5NVlpwTkZwb1p3PT0iXQ==
29. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa8w9MuL7nC1h6XemqkXSSbflIz02ZbOzYWMJKKhVgi0utuVm8Qa1wdkcWRZYqYVJ11NK9Erf5Uxzi1PDIiHRJnl-bqty2u3oVH1kRhpwvbv-1eHaWtMA4gAUgzmdsQSnRLoVuU_a5dbTs4_LoNmUrrQEaZCeRg4g7GzcUSuLDHtpqWRYLI94bcbu3xScjNRPB4hypXyAgg_9AwMunH7oK85Cy2e9KEiZgunfxnKW4h826oLeKaBehV1WOvX0Am8nDGHImTlqJl7VcirmoLm4Q_BjuCxDJH0yLluFaLnp&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRE5oWTFJFNU1EWm1MVghoWXpBdE5ETXpOQzA0WW1OaUxXWmtZemRpTURabE16UXdOeElmUVhwdVVqTTVaazVxTWtGalVVUjFWV2RKVKUxaWJEWIJabGRQTKZwb1p3PT0iXQ==
30. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa-USOsrF9wl8le9yrTsmqWm-K489VAho3ek6OxoMhB67qTYkkppHRO_RgX6z2wu44AWNlve7n3JCQxYwrW0rfoVZ8aOG2NVN0VEcwkgMI4NSMmTMs4jllH9BQBhwl8AQpWkWYSnggFNra_1o9_tmqbDW4SQmOSxDfH3gX1mTdO0ktykl4T_i3gw3ncB0I22WO8ZlZGU8p45J7OsVQdV2alGGv49XCDZYI-Cq-cgbG1GncQ70WZpq_LRI4fGF_eAE0poucLkhfT_aHy5JT1CA7DCWizZ9xUlosDQ6eQ%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKREk1TIdVNVpXWmtMVEF1WVRNdE5ERmlZeTA1T1dRekxUQm1PRGsyTWpWbFltVXhOaElmWXpSTWNUVmxURXRUVVGGVVVVUjFWV2RKVKUxaWJEFZJNM05YtkZwb1p3PT0iXQ==
31. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa8RGVXLptKfy7JhMr65UpT05wtq5RUImAKN9fyg_fSI15QBS-STwBcPNGr4kDtlQig2EghaGAhQBPLDc5JZlg0A0WQnKCTZpggqFY87GB6ytlFuRlnGI5EGUvrO5RZKDKhblYxOSLRJln8q7SUE3PgnhP60688sZG4j_a3D2IziSBkiVeq7zYqkkraSHwpkBHQHkiqkLB1bpzqn6IAzX0CQx6PM9JSIYISQMmc3Js59z8rFyC-Rm3Wq9KPX77xtQKl8HwyDJlZTGNIDHJBPgnTwqH35T7NRx0-38Btql0%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRE5oTVRNM1lqRmlMV05oTkRrdE5EzZJaUzFoTTJJeUxUSTJObVktJJaFkyUTJZeElmYnpOV1RVUllNSGRUY1VsVIVVUjFWV2RKVKUxaWJEUkJUa3hETIZwb1p3PT0iXQ==
32. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa-DLIU1qemuTHvl0XNtoQIP53_PjOizpv0LgsQlmt3c70nMTdHrF6ehjjo1N8r-CBqY6arFUxXd9XrK4UEDCsmUul8LF1pcYpwJltVAoNe0LZuNcysB4TmXVgjeYEFyVQzqwrqrgYD5RaaEeHkSI5p8UXhU5wBeQi8Tn7MIN_YoqK4deBlisiz6Hs2wWDWLGISuG0yWUD_ydtUZTYM6OKRW8Aoxddj-bYLckLvBP_h2N6rngRRyNyYjtBluX1FRu6Zy_5LVDgzZbKZsINM5bVH5UPyNgj7fneHhJ5A%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKR1F6WmpnM01XVmlMV1poTkrZdE5EazBOaTA0T1dWaExUZGhNMIU1TkrBeVpEQXINUklmT0RoaGFHbzNhVzFYVIRoVVVVUjFWV2RKVKUxaWJEFZJUMmhitmxwb1p3PT0iXQ==
33. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa87Bo4-ygo-xDDDkvcjGhabYhTnRiYPapVKj4BJgzP21xZnJQmPftTqnW0E5E-h0Noh8Elk5-ycKsX8-PXOjlkfKD-q43Ud3ibg8aJomGleXLZSbi9wvveIEI3XPKjd5vd44dfwxD8YapkwH_5qTxGVN5QMbjOsRnbPu1WQVm7p6WEyDYaW7XUL2jKwpZb1Geo77sDLGaAY46-7pDMJ-6z2A5lkvaCWwy4VTR8h1minR4ziOCyihJPwKfGhDeiKXGOP45S8oCZyJGoy9Wy_bP7w3J6W9zhyzlnY%3D&ep=

[gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKR0V3TVRkallUSmlMVfZoTURNdE5Ea3IaaTA1T0dSaExUUTFaR0kyTURaak0yRTJJPQklmTURWU1IWRjVSVVp3WmpSaFVVUjFWV2RkVvUxaWJEVjNSMm8yTmxwb1p3PT0iXQ==](#)

34. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa_OeaNjwE-k0JE5hha7QZJyHOKQSUCHivaA5fDjdIcdBSeVF929YjYT0mGO-3SfdxanQxR6VgTEDY5saNu35e67w2bj8A2I9bZFIftfYL3sdyjDWijkERwL2nA3PQwRtauOUQOiiareWeQGJksxxeK2-9-LY6e7bOZTiQZOosQeZMsIII0oIEyYrYaOnJoww26793VB-MHtl8ULzCQR6NKPiaplLWOYtjpN39HtbUWVg7een1FTcV3RVF6L-CpLwxw_e0o9vw23Fcbi9pJRTWtJXN6mO940gHjQkbB&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKR015WkdZd00yVTJMVFEzTm1RdE5HRXIPUzFpTURrMUxURm1NREJoT0dJd05XUTBZUKlmT0RsalJHTk5NSGxJZUVsa1VVUjFWV2RkVvUxaWJEWm5aV3hMTmxwb1p3PT0iXQ==
35. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa99vH85zAaMzSC9QWtm1w5Ok-60LplqhOu13fsMqP8iQAVdt2fvBxSSvvHvHOsQTjzUPp3aRGZGzvNokdWC0NRVjl_-J855W5bVE_BWNqSylH-2phfHzwcmE2B4irVAh_FJIFPRfIr7WWwh9wtEi4EecbwxffgF7cRIRY4UHNvb4lehBjc3NzliD4uJ4uriDqWk02CdnKvkoojQwlpQWM4Bb4YMDsu7ebcxvMCF6zpvRsmgqLE2u05j73hbCOIOmN4pAVif2jX11kPnerKBJ2qeIB_OiCDIwIWC4-bpbw%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRfKxTjJGaU16Sm1MVFV6T1dZdE5EVmxNUzFoTnpOakxUTmIOV1U1WmpnMlIUVTfNUklmWnkxeFVVOHRVUzEwY2poVFVVUjFWV2RkVvUxaWJEVkJjMfo1Tmxwb1p3PT0iXQ==
36. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa8TmZX6XwJd-oblZPI31ti1Mq63-kxbQd5CosjAlyxBe9vJK07YG7KTvpEJoI0fQJAU0g52mq41GECvAsGJILkqaK4lr1-3P7Foak72QUdyet_qlQI4sYNpgw_2qExh_MbAHpnxTvXS-rikYnHyYKKIcRAicHshN4BYaoxMN3mt4sKSb-sHp6rLcaJ8n6KQmSoX-RxU5FLNLqwp6QGwqh-4IAqQzorspjKzJoHaXA5DJWEOUoOopUvb5ILD9Hmp5q9Vz_crJo69DQ-iHhhDAcWzd5hMuvUQT0PWIRE%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRgT4TVdFMlPjUQm1MVEEwTURBdE5EZzJNaTA1TmprekxUYzJOkEuyWTJNMU1tRTNPQklmVVRoMk1rZGIzWfJUZfHObVvVUjFWV2RkVvUxaWJEUJkRmRYTmxwb1p3PT0iXQ==
37. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa96GSd4z_bShxtZuVRcyT86Hvb4P-HE1MmoCUQ-si9g-pEobU-Qckkk0b_v-Yau1ZgfOGQA1_IWKNC6NUTSxZIV-YesQD2aEQOuEfW5nJZzkKpDmTRUdmlJP4pEAiASmtOvi1xt34zfJ-nEB1OeqVo2EnZ7jHQnPkzCTurF4Pa_chSBId2FBOe8vt3mqj8u7VFBbfhSOO_lxKf4lvncI4Y-U27RUYbdNcl_ilQ6MvzQC2ibx-100sTo_JY6AE9L_Mg_Ord7Q9oHzXVwAE5dX7ozsW7lvZBpo1G7Fx4%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRf3TUdJd01HRTRMVFewTXpFdE5HVmtOUzFpWIRnMEXUQmxaR016TldKaE1HVXdNaElmU1hkWIZGQkIXRkplWmpoWfVVUjFWV2RkVvUxaWJEWIjXWFJUT1Zwb1p3PT0iXQ==
38. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa_IpWQSwnnZ2jM0TyUSDrxua8aghCgvBw6Je9uHiXNYX4qR47tgcZKgECg2.1lcHX4N3iYqjKoYCweiJyXcbbHT5Lk4qLOJSwXOdWscII5GG8V-xcpJFWcy4S7oCKGh9Fv43TYSnk3pF5Jj3nNBfgOGxWWO3pOfIgeNOtmoRIFqWJD4qYRg4ao5Mamd2y1g2UR5DGednL5xa1AAx0JYCwch3DYuvHb9mxfRXkOfkduhlzI3q3Yz2ivKeL6T_slJnqVIUaxzQ3HX6Vr2AMZwCHGdOAPBnH_srPeWPY%3D&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKREpsTmpeU9UYzFMVFewTUdJdE5EbGhOUzFoT1dOa0xUWXINaZpTURaak16RmtaaElmYnpaagJGODFPVGRGTjFGU1VVUjFWV2RkVvUxaWJEZEJUM1F5T1Zwb1p3PT0iXQ==
39. https://lens.google.com/search?p=AfVzNa-YayUveG75JFnlRhMy_Etbrp5H4SloW_pul6yp2LjMR5jD4GI1KloGAPC5CmnP6MkCmlgBK0igZg-TceEJfUsHo4ndMvVJPFuY9UwJNSQO4IP1ChnF_IQiyNF6neJRQsqajXhs86gX83nfNncFBTJo4TEdnBvLrzL0PWXYZn3nuhu9K1fjwyz8lBelBOZiodtyKEXLj1xhVopQ0OMPZ_j4wm0Socm4MnGhBxgvZkCweKyWFDz4BkvugdL1uNx57B7dGY2BOWiKc1uCPWhpvsirDghyVgUeVChvx&ep=gsbubb&hl=el&re=df#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRfpoWIRnME5XRmIMVFU1TUdRdE5Ea3hOaTFoTXpJMUXUVTJNRGsyTUdKaE1qRTRoElmYXpsbFREZFZTWfJsV1dkbFVVUjFWV2RkVvUxaWJEZDNXWFzSt1Zwb1p3PT0iXQ==
40. <https://el.wikipedia.org/wiki/Arduino>

41. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%80%CE%AF%CE%B1>
42. <https://science.fandom.com/el/wiki/%CE%A6%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%80%CE%AF%CE%B1>
43. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CF%89%CE%BD%CE%AF%CE%B1_%CF%80%CF%81%CF%8C%CF%83%CF%80%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7%CF%82_%CE%9C%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B5%CF%81
44. https://www.aua.gr/fysiki/ekpaideysh_fysikh/shmeiwseis/karpusas/modern_physics2.pdf
45. <https://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY222/notes/2020/lecture08.pdf>
46. https://www.google.com/search?q=laboratory+reflection+light+reflection&client=firefox-b-d&sxsrf=ALeKk02o9qRDXNuBGmdXgRDKiMB4t3vPOQ:1614329284908&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj8886clYfvAhVylFwKHaCuDPMQ_AUoAXoECA8QAw&biw=1680&bih=880#imgrc=FKUArbNNH065CM&imgdii=OK8xEtFqt-gvM
47. https://www.google.com/search?q=light+Reflection+and+refraction&client=firefox-b-d&sxsrf=ALeKk02zhLagu6jqnXcsFt_3eSrX41gCOQ:1614333665343&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwirwq_FpYfvAhWC3OAKHb1XAJEQ_AUoAXoECBkQAw&biw=1680&bih=880#imgrc=xCkE2mgIPgTWM
48. <https://thinklucid.com/tech-briefs/polarization-explained-sony-polarized-sensor/>
49. https://www.google.com/search?q=creator+analysis+in+spectroscopes&client=firefox-b-d&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwifKituo3vAhWSzqQKHQ8OCTwQ_AUoAXoECAMQAw&biw=1366&bih=654#imgrc=4uXM4Ev9Pxb4M&imgdii=JvXghOPYyEns4M
50. https://www.google.com/search?q=angle%20of%20refraction&tbn=isch&hl=en&tbs=rimg:CUBS_1Q49f6O7YZPtpFby1Mp&client=firefox-b-d&sa=X&ved=0CBsQuIBahcKEwiwPdPbnlfvAhUAAAAAHQAAAAQEA&biw=1663&bih=880#imgrc=1Sm9KVoaGBeMM&imgdii=63F9oCEInFcqjM
51. http://www.cnilaser.com/LIF_laser.htm
52. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%BF%CE%BC%CF%80%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE>
53. <https://www.pemptousia.gr/2021/11/rompotiki-orismos-istoriki-anadromi/>
54. <https://www.protothema.gr/technology/article/1279454/tehnologia-anthropoeides-robot-gia-proti-fora-hrisimopoiithike-me-epituhia-gia-na-axiologithe-i-psuhiki-ugeia-paidion/>
55. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%8C%CE%BB%CF%89%CF%83%CE%B7>
56. http://physiclessons.blogspot.com/2013/03/blog-post_26.html
57. <https://el.lamdageeks.com/polarization-types/#Linearpolarizationoflight>
58. https://www.google.gr/search?q=elliptical%20polarization%20gif&tbn=isch&tbs=rimg:CdoboEtNKD6jYakE_Wy1F6_1fg8AEAsgIOCGiIABAAOgQIABAAQAE&hl=el&sa=X&ved=0CCAQuIBahcKEwjY15qpqb37AhUAAAAAHQAAAAAQDg&biw=1903&bih=872#imgrc=3nHBjw0HXdxOJM&imgdii=VUEU03b4ETgnUM
59. http://physics.bu.edu/~duffy/sc545_notes08/brewster.html
60. https://www.fotomarket.gr/index.php?route=information/blogger&blogger_id=19
61. https://www.google.com/search?q=%CF%80%CE%BF%CE%BB%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC+%CF%86%CE%B9%CE%BB%CF%84%CF%81%CE%B1+%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85+%CF%86%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CF%85&tbn=isch&ved=2ahUKEwiEsMCor9H7AhVBM-wKHUmgBGUQ2-cCegQIABAA&oq=%CF%80%CE%BF%CE%BB%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC+%CF%86%CE%B9%CE%BB%CF%84%CF%81%CE%B1+%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85+%CF%86%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CF%85&gs_lcp=CgNpbWcQA1AAWOAiYlGmaABwAHgAgAHKAYgBsxCSAQY4LjEwLjYGAQCgAQGqAQnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=q-uEY8SuOMHmsAfJwJKoBg&bih=615&biw=1366&client=firefox-b-d#imgrc=7GFSBzaH76lmSM
62. <https://www.teamwavelength.com/photodiode-basics/>
63. http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2226/Fysiki_G-Gymnasiou_html-empl/index8.html
64. https://lens.google.com/search?p=AfvzNa-GFOR0Z6W-laJ1gp0QvJZ_y2MDmdUH_PtjOUkpDqVTR4jlaJ0bsWU5T6IHHocM-ORfpuup6EMIBkG5bEmJza6p_6BEgGY5NemCGP9IukbKDLbGxyADE5wJnhERInwLZpx0-CuJMvrYPTd3QT5m2wMhhSkyyOlc8o8KpX2O4PwsYTVTCO2A22TWE8_4OZFUXYI_6081_EckxwJ7wr2exm7ng_oVdNmbg36n8Utmkt3Ge76A6ZFcjiKX1ETjPnKfK6HY54rKwg34SwB_ghsrP30osLDIK-

